ДНІПРО / ЛІРА / 2024
ISBN 978-966-981-923-9

Ф. В. НОВІКОВ
Д. Ф. НОВІКОВ
В. О. ЖОВТОБРЮХ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Ф. В. НОВІКОВ
Д. Ф. НОВІКОВ
В. О. ЖОВТОБРЮХ
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ



Ф. В. Новіков
Д. Ф. Новіков
В. О. Жовтобрюх

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Навчальний посібник

Дніпро, 2024

УДК 621.757 (65.011.56)
Н73

Рецензенти:
М. С. Степанов, докт. техн. наук, професор, професор кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут";
Ю. В. Яровий, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цифрових технологій в інжинірингу Національного університету "Одеська політехніка"

Новіков Ф. В.
Н73 Інноваційні технології та їх застосування : навчальний посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2024. 628 с.
ISBN 978-966-981-923-9

Розглянуто сутність та перспективні напрями розвитку інноваційних технологій виробництва промислової продукції та надання послуг на основі застосування високих технологій: нанотехнологій, інформаційних технологій, робототехніки, штучного інтелекту, 3D-принтерів, процесорів, біотехнологій, соціальних технологій тощо. Значну увагу приділено фізичним основам створення інноваційних технологій. Наведено приклади ефективного застосування інноваційних технологій електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічної справи, інноваційних технологій у медицині, машинобудуванні, хімічній промисловості, будівельній сфері. Запропоновано шляхи створення ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій. Обґрунтовано основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології. Розглянуто приклади забруднення Землі, повітря, води та сформульовано заходи із їх усунення.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти інженерних та економічних спеціальностей, а також для фахівців і керівників підприємств, які підвищують свою кваліфікацію.

УДК 621.757 (65.011.56)

© Новіков Ф. В., Новіков Д. Ф., Жовтобрюх В. О., 2024
© ЛІРА, 2024

ISBN 978-966-981-923-9

Вступ

Розвиток суспільства неможливий без створення та застосування нових прогресивних технологій, направлених на підвищення якості й продуктивності виготовлення продукції та надання послуг, охорону здоров'я людей та навколишнього середовища, підвищення добробуту людей тощо. Особливо це відноситься до інноваційних технологій, які приводять до значних змін в житті та діяльності людей. Ще зовсім недавно серед інноваційних понять з'явилося поняття "високі технології", а сьогодні ці високі технології у вигляді цифрових (комп'ютерних) технологій та виробів мікроелектроніки прийшли майже у кожен дім. Комп'ютерні технології (Інтернет), мобільні телефони і смартфони замінили традиційні засоби масової інформації (газети, телефони) та відкрили невідані можливості отримання інформації і спілкування між людьми. А такі високі технології як робототехніка, нанотехнології, 3D-технології, штучний інтелект, біотехнології успішно заміняють традиційні технології виробництва продукції та надання послуг у всіх сферах економіки країни. Із застосуванням комп'ютерних технологій у школах і університетах проводяться дистанційно заняття, що відкриває нові шляхи отримання знань. Отже, інноваційний розвиток технологій став могутнім чинником створення умов розвинутого суспільства і все це відбувається завдяки значним науковим досягненням у фізиці, хімії, математиці, біології та інших науках. Однак, практичне використання інноваційних (високих) технологій вимагає від фахівців і більш високого рівня фундаментальних знань. Тому для прийняття найефективніших рішень фахівці повинні знати сутність та можливості нових інноваційних технологій, вміти на їх основі планувати та організовувати виробництво конкурентоспроможної продукції, визначати перспективні напрями технічного переозброєння виробництва, оцінювати ефективність застосування інноваційних технологій, орієнтуватися у виборі інноваційних технологічних та управлінських рішень.

Метою навчального посібника є формування у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для розуміння сутності функціонування різноманітних інноваційних технологій та їх ефективного застосування. Для цього у навчальному посібнику розглянуто основні поняття щодо інновацій, інноваційної діяльності, інноваційного процесу та класифікацій інновацій, які є передумовою

створення інноваційних технологій. Наведено структурну модель інноваційного процесу сучасних промислових технологій. Показано, що інноваційні технології – це радикально нові або вдосконалені технології, які суттєво поліпшують умови виробництва або самі виступають товаром. Показано також, що їм, в першу чергу, відповідають високі технології, які є нетрадиційними найбільш новими і прогресивними технологіями сучасності та включають нанотехнології, інформаційні технології, робототехніку, штучний інтелект, 3D-принтери, процесори, біотехнології, соціальні технології тощо. Виходячи із цього, у навчальному посібнику проведено аналіз сутності і можливостей високих технологій та умов їх ефективного практичного застосування. Обґрунтовано важливість науки у розвитку високих технологій та на цій основі сформульовано основні напрями ефективного поєднання виробництва, науки і інновацій.

Значну увагу приділено фізичним основам створення інноваційних технологій. Показано, як від математичних моделей фізичних процесів виробництва промислової продукції можна прийти до важливих практичних рішень і розроблення сучасних технологій. Розглянуто сутність та ефективність застосування інноваційних технологій електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічної справи, інноваційних технологій у медицині, машинобудуванні, хімічній промисловості та будівельній сфері. Для кращого розуміння закономірностей функціонування інноваційних технологій у машинобудуванні наведено основні положення фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування, умови модернізації виробництва для підвищення продуктивності праці та якості і конкурентоспроможності виготовленої продукції. Показано пріоритетні напрями технологічного розвитку виробничих підприємств.

Наведено основи створення на інноваційному рівні ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій. Обґрунтовано основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології. Розглянуто приклади забруднення Землі, повітря, води та сформульовано заходи із їх усунення, які реалізовано в різноманітних технологіях.

Наведені у навчальному посібнику матеріали отримали широке застосування у навчальному процесі Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця під час вивчення дисциплін технологічного спрямування.

Розділ 1. Сутність інноваційних технологій

1.1. Інновації та інноваційна діяльність

Найважливішим чинником розвитку нових високоефективних технологій, який базується на вищих світових науково-технічних досягненнях, є нововведення, що переходить в багатоступінчатому складному процесі в інновацію. Термін "інновація" походить від латинського *novatio* – "оновлення; зміна" та приставки *in* "у напрямі": дослівний переклад *innovatio* "у напрямі змін". Цей термін активно використовують в технічній і економічній літературі з переходом України на ринкові відносини. У даний час в літературі є чимало визначень терміну "інновації", аналіз яких показує, що специфічний зміст цих визначень складають зміни. Ще в 1911 році австрійський вчений Шумпетер І. виділив п'ять типових змін, що стосуються нововведень [119]:

- використання нової техніки, нових технологічних процесів або нового ринкового забезпечення виробництва (купівля–продаж);
- впровадження продукції з новими властивостями;
- використання нової сировини;
- зміни в організації виробництва;
- поява нових ринків збуту.

Пізніше, в 1930-і роки, Шумпетер І. ввів поняття "інновації".

Методологія системного опису інновацій в умовах ринкової економіки базується на міжнародних стандартах. У 1963 р. у місті Фраскаті (Італія) група національних експертів розробила документ зі збору даних щодо показників науки і техніки, який отримав назву "Керівництво Фраскаті". Щодо технологічних інновацій в 1992 р. в Осло прийнято рекомендації, які отримали назву "Керівництво Осло" [87]. Ці рекомендації стосуються продуктів і процесів, а також їх значних технологічних змін.

Відповідно до міжнародних стандартів, *інновація* – це кінцевий результат інноваційної діяльності, що отримав втілення у вигляді нового або вдосконаленого продукту, впровадженого на ринку, нового або вдосконаленого технологічного процесу, який використовують у практичній діяльності, або в новому підході до соціальних послуг [94]. Отже, неодмінними властивостями інновації є науково-технічна новизна, виробнича застосовність і комерційна реалізованість (рис. 1.1 – рис. 1.3).



Рисунок 1.1 – Напрями розвитку інновацій









Рисунок 1.2 – Практичне втілення інновацій









Рисунок 1.3 – Практичне втілення інновацій

Для розуміння терміну "інновація" розглянемо його визначення.

Інновація – це категорія розвитку різної спрямованості людської діяльності

Інновáція (англ. *innovation* – нововведення) – ідея, новітній продукт в галузі техніки, технології, організації праці, управління, а також в інших сферах наукової та соціальної діяльності, які засновані на використанні досягнень науки та передового досвіду, є кінцевим результатом інноваційної діяльності.

Інновація – це введений у вжиток новий або значно покращений продукт (товар, послуга) або процес, новий метод продажу або новий організаційний метод у діловій практиці, організації робочих місць або у зовнішніх зв'язках.

Інновація – це результат інвестування інтелектуального рішення у розроблення та здобуття нового знання, раніше не застосовуваної ідеї щодо оновлення сфер життя людей (технології, виробу, організаційної форми існування соціуму, таких як освіта, управління, організація праці, обслуговування, наука, інформатизація тощо) та подальший процес впровадження (виробництва) цього, із фіксованим отриманням додаткової цінності (прибуток, випередження, лідерство, пріоритет, докорінне поліпшення, якісна перевага, креативність, прогрес).

Інновація – це практичне застосування ідей, які призводять до появи різних типів нових пропозицій, таких як продукти, послуги, процеси та бізнес-моделі, з наміром покращити або порушити існуючі програми або створити нові рішення. Інновація ґрунтується на винаході, але інновації та винаходи – це не одне й те саме. Інновації виходять за рамки винаходу, застосовуючи нові або покращені ідеї, процеси або продукти таким чином, щоб вплинути на суспільство або ринки. Інновація включає перетворення винаходу в щось, що створює цінність або задовольняє потреби користувачів новим і ефективним способом. Наприклад, винахід телефону свого часу став революційним досягненням, проте наступні інновації (мобільний телефон, а потім смартфон) призвели до ще більших революційних досягнень у способах спілкування. Тому не всі винаходи призводять до інновацій. Винахід – нове технічне або технологічне вирішення конкретного завдання, що дає позитивний ефект, поліпшує якість продукції або змінює умови праці. Наприклад, нові машини, механізми, прилади, обладнання, інструменти, матеріали, процеси (технології) тощо. Відкриття – встановлення

невідомих раніше об'єктивних закономірностей, властивостей та явищ матеріального світу, що сприяють накопиченню теоретичних знань. Наприклад, циклічні хімічні реакції, у процесі яких розчин певних речовин з чіткою періодичністю внаслідок хімічних перетворень змінює колір необмежену кількість разів; відкриття на початку XXI сторіччя планет поза Сонячною системою біля інших зірок. Як винаходи, так і відкриття є основою інновацій. На їх основі створюються базисні (радикальні) інновації, що здатні докорінним чином змінити характер людської діяльності, створити нові галузі економіки. Наприклад, двигуни внутрішнього згорання, мікропроцесорна техніка, космічна техніка тощо.

Інновація – такий процес або результат процесу, у якому:

• використовуються частково або повністю охороноздатні результати інтелектуальної діяльності;

• забезпечується випуск патентоспроможної продукції;

• забезпечується випуск товарів і послуг, які за своєю якістю відповідають світовому рівню або перевищують його;

• досягається висока економічна ефективність у виробництві або споживанні продукту.

Інновація – це удосконалення діяльності суб'єкта господарювання, яке приносить позитивний економічний, соціальний або екологічний результат. Інновація є використання наукових досягнень у комерційних цілях.

Інновáції – це об'єкти впровадження або процес, що приводять до появи чогось нового – новації.

Інновація – це результат системної діяльності, спрямованої на реалізацію досягнень науково-технічного прогресу та їх удосконалень, що сприяє кількісним і якісним змінам у внутрішньому середовищі підприємства та забезпечує підвищення ефективності й отримання конкурентних переваг.

Інновація – 1) вкладення коштів в економіку, що забезпечує зміну техніки та технології; 2) нова техніка, технологія, що є результатом досягнень науково-технічного прогресу. Суттєвим чинником інновації є розвиток винахідництва, раціоналізації, поява великих відкриттів.

Інновації – новостворені (застосовані) і (або) вдосконалені конкурентоздатні технології, продукція або послуги, а також організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що суттєво поліпшують структуру та якість виробництва і (або) соціальної сфери.

Інновація – це введення у споживання якого-небудь нового або значно поліпшеного продукту (товару або послуги) або процесу, нового методу маркетингу, або нового організаційного методу в діловій практиці, організації робочих місць або зовнішніх зв'язків.

Будь-якій інновації притаманні три основні взаємопов'язані властивості: новизна; технічна спроможність і економічна доцільність її виготовлення і збуту; корисність для споживачів (споживачами можуть бути і власні підрозділи підприємства-інноватора).

Поряд із необхідністю правильного трактування терміну "інновація", розуміння його сутності та змісту, не менш важливим є визначення терміну "інноваційна діяльність". *Інноваційною діяльністю* називають діяльність із створення (розроблення і виготовлення), упровадження і поширення інновацій.

У світовій практиці загальноприйнятою є таке формулювання: *інноваційна діяльність* – це діяльність, спрямована на використання та комерціалізацію результатів наукових досліджень і розробок для розширення та оновлення номенклатури й покращення якості продукції (товарів, послуг), вдосконалення технології їх виготовлення з подальшим впровадженням та ефективною реалізацією на внутрішньому та закордонному ринках [57].

Слід зазначити, що основу інноваційної діяльності становить науково-технічна діяльність (НТД). Виходячи із цього, інноваційну діяльність визначають також як діяльність, пов'язану із трансформацією результатів НТД у новий або вдосконалений продукт, яка передбачає цілий комплекс наукових, технологічних, організаційних, фінансових і комерційних заходів, що приводять у своїй сукупності до інновацій.

Інноваційна діяльність включає всі наукові, технологічні, організаційні, фінансові та комерційні кроки, які фактично або за задумом приводять до реалізації інновацій. Деякі з цих видів діяльності можуть бути інноваційними за своєю суттю, тоді як інші не містять новизни, але необхідні для здійснення інновації [142].

Інноваційна діяльність – це діяльність, що спрямована на використання і комерціалізацію результатів наукових досліджень та розробок і зумовлює випуск на ринок нових конкурентоздатних товарів і послуг [133].

Інноваційна діяльність у сфері господарювання – це діяльність учасників господарських відносин, що здійснюється на основі реалізації інвестицій з метою виконання довгострокових науково-технічних програм з

тривалими строками окупності витрат і впровадження нових науково-технічних досягнень у виробництво та інші сфери суспільного життя [133].

Інноваційна діяльність передбачає інвестування наукових досліджень і розробок, спрямованих на здійснення якісних змін у стані продуктивних сил і прогресивних міжгалузевих структурних зрушень, розроблення і впровадження нових видів продукції і технологій [133].

Інноваційна діяльність – це діяльність із створення на підставі об'єктів інтелектуальної власності інноваційних продуктів, готових до безпосереднього впровадження (використання) в умовах конкретного виробництва чи господарської діяльності, їх комерціалізації та впровадження (використання) як інновацій у виробництві та соціальній сфері, що здійснюється на основі реалізації інвестицій, із отриманням нової або суттєво вдосконаленої продукції, виконанням інноваційних робіт, наданням інноваційних послуг, а також підвищенням техніко-технологічних показників відповідної господарської діяльності та виробничого процесу (рис. 1.4) [2].

За Законом України "Про інноваційну діяльність", об’єктами інноваційної діяльності є [146]:

- інноваційні програми і проекти;
- нові знання та інтелектуальні продукти;
- виробниче обладнання та процеси;
- інфраструктура виробництва і підприємництва;
- організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що істотно поліпшують структуру і якість виробництва і соціальної сфери;
- сировинні ресурси, засоби їх видобування і переробки;
- товарна продукція;
- механізм формування споживчого ринку і збуту товарної продукції.

Наукова діяльність – це інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання нових знань та (або) пошук шляхів їх застосування, основними видами якої є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

Відповідно до частин 2 та 3 ст. 327 ГК України, види інноваційної діяльності визначаються через її напрями і класифікуються на складові:

- проведення наукових досліджень і розробок, спрямованих на створення об'єктів інтелектуальної власності, науково-технічної продукції;







Рисунок 1.4 – Інноваційна діяльність

- розроблення, освоєння, випуск і розповсюдження принципово нових видів техніки і технології;
- розроблення і впровадження нових ресурсозберігаючих технологій, призначених для поліпшення соціального і екологічного становища;
- технічне переозброєння, реконструкція, розширення, будівництво нових підприємств, що здійснюються вперше як промислове освоєння виробництва нової продукції або впровадження нової технології.

Інноваційний продукт – це результат науково-дослідної і (або) дослідно-конструкторської розробки, що відповідає вимогам до інноваційної діяльності. *Інноваційна продукція* – це нові конкурентоздатні товари або послуги, що відповідають вимогам до інноваційної діяльності.

Інноваційний розвиток – це:

- "неперервний процес якісних змін у структурі виробництва або соціальної сфери в результаті створення, застосування та розповсюдження нових знань, машин, технологій";
- "процес господарювання, що спирається на безупинні пошук і використання нових способів і сфер реалізації потенціалу підприємств";
- неперервний процес впроваджуваних новинок, які ґрунтуються на нових інформаційних технологіях.

Таким чином, *інноваційний розвиток* – це вдосконалення системи (об'єкта) на основі інновацій. Інноваційний шлях розвитку країни можливий за умови повсюдного впровадження інновацій, інвестицій та впровадження інноваційних процесів, як основи ринкового господарювання, зокрема формування структури виробництва та його технічної бази, вдосконалення систем управління.

Тому інноваційно-інвестиційний шлях розвитку економіки країни є одним із пріоритетних напрямів економічної політики держави.

На практиці нерідко ототожнюють поняття "новітність", "нововведення" та "інновація", хоча між ними існують відмінності.

Новітність – це новий метод, винахід, новий порядок, нова ідея. *Нововведення* означає, що новшість вже використовується. З моменту прийняття до поширення нововведення одержує нову якість і стає інновацією. Проте, інновацією є не всяка новшість або нововведення, а лише така, що значно підвищує ефективність діючої системи.

Мінімальна вимога до нововведення полягає в тому, що товар або бізнес-процес повинні мати одну або більше характеристик, які

суттєво відрізняються від тих, що містяться в продуктах або бізнес-процесах, раніше запропонованих організацією або використаних ними.

Інновація також може бути результатом ряду незначних поліпшень, здійснених протягом періоду спостереження, за умови, що сума цих незначних поліпшень призводить до значної різниці в кінцевому продукті або бізнес-процесі.

Вимога щодо суттєво різних характеристик поширюється на інновації продуктових та бізнес-процесів, які організація розробляє сама, та нововведення, спочатку розроблені іншими організаціями або особами, із незначними або без додаткових модифікацій. Тому визначення інновацій також включає дифузію.

Дифузія нововведення – це процес його поширення для використання у нових місцях, сферах або умовах [57].

Прийняття нового або вдосконаленого продукту або бізнес-процесу організацією, яка входить до групи підприємств, є нововведенням, навіть якщо новий або вдосконалений продукт або бізнес-процес раніше був представлений на ринку або введений у користування іншими суб'єктами в межах тієї самої групи підприємств.

Поняття "суттєвої" різниці виключає незначні зміни або вдосконалення. Однак межа між зміною, яка є інновацією, та тією, що не є інновацією, неминуче суб'єктивна, оскільки вона стосується контексту, можливостей та вимог кожної фірми. Визначення даного поняття не вимагає, щоб інновація мала комерційний, фінансовий або стратегічний успіх на момент вимірювання. Інноваційна продукція може провалитися комерційно або інновація бізнес-процесів може зажадати більше часу для досягнення своїх цілей.

1.2. Класифікації інновацій

Для успішного управління процесом створення інновацій необхідно розробити класифікацію інновацій та критерії оцінювання ступеня їх новизни. Із урахуванням сфери діяльності підприємства інновації можна розподілити на технологічні, виробничі, економічні, екологічні, торговельні, інтелектуальні, юридичні, соціальні та управлінські.

За технологічними ознаками інновації розподіляють на продуктові (наприклад, нові продукти, матеріали, сировина, комплектуючі) та процесні (нові технології та нові організаційні структури).

Продуктові інновації припускають розроблення та впровадження технологічно нових або вдосконалених продуктів. Впровадження нового продукту визначається як радикальна продуктова інновація, якщо стосується продукту, передбачувана область застосування якого, функціональні характеристики, властивості, конструктивні або використані матеріали і компоненти суттєво відрізняють його від продуктів, що раніше випускалися. Такі інновації можуть бути засновані на принципово нових технологіях або на поєднанні існуючих технологій в їхньому новому застосуванні. Таким чином, продуктова інновація включає отримання нового продукту або послуги з метою задовольнити певну потреба на ринку. Вона має ринкову орієнтацію і диктується, головним чином, споживачем. Іншими словами, продуктові інновації вимагають, щоб організації задовольняли потреби покупців (користувачів).

Процесні інновації – це освоєння технологічно нових або значно вдосконалених виробничих методів, включаючи методи передачі продуктів. Інновації такого роду можуть бути засновані на використанні нового виробничого устаткування, нових методів організації виробничого процесу або їх сукупності, а також на використанні результатів досліджень і розробок. Отже, процесна інновація означає нові елементи, введені виробничі, управлінські, організаційні, маркетингові та інші процеси, тобто визначається в основному внутрішніми чинниками і диктується, головним чином, міркуваннями ефективності. Процесні інновації вимагають, щоб організації застосовували нову технологію для поліпшення ефективності виробництва та комерціалізації продукту.

Новизна інновацій оцінюється за технологічними характеристиками і умовами комерційної реалізованості (тобто ринку). За типом новизни на ринку із метою задоволення поточного попиту й збільшення доходів підприємства (фірми), інновації розподіляють на нові в міжнародному плані, нові для країни та нові для підприємства (хоча відомі на ринку).

Все розмаїття інновацій можна класифікувати за рядом ознак.

1. За ступенем новизни [87]:

- радикальні (базисні) інновації, які реалізують відкриття, великі винаходи і стають основою формування нових поколінь і напрямів розвитку техніки і технології. Наприклад, винахід літака, оскільки ця радикально нова технологія відкрила нову форму подорожей, винайшла цілу галузь і новий ринок;
- поліпшуючі інновації, які реалізують середні винаходи;

- модифікаційні інновації, спрямовані на часткове поліпшення застарілих поколінь техніки та технології, організації виробництва.

2. За типом новизни для ринку:

- нові для галузі у світі;
- нові для галузі у державі;
- нові для даного підприємства.

3. За об'єктом застосування:

- продуктові інновації, орієнтовані на виробництво і використання нових продуктів (послуг) або нових матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих;
- технологічні інновації, націлені на створення і застосування нової технології;
- процесні інновації, орієнтовані на створення і функціонування нових організаційної структур, як всередині фірми, так і на міжфірмовому рівні;
- комплексні інновації, що представляють собою поєднання різних інновацій.

4. За масштабами застосування:

- галузеві;
- міжгалузеві;
- регіональні;
- в рамках підприємства (фірми).

5. За причинами виникнення:

- реактивні (адаптивні) інновації, що забезпечують виживання фірми, як реакція на нововведення, які здійснюються конкурентами;
- стратегічні інновації – це інновації, реалізація яких носить попереджуючий характер з метою отримання конкурентних переваг в перспективі.

6. За ефективністю:

- економічна;
- соціальна;
- екологічна;
- інтегральна.

7. За стимулом появи (джерела):

- інновації, спричинені розвитком науки і техніки;
- інновації, спричинені потребами виробництва;
- інновації, спричинені потребами ринку.

8. За значенням у відтворювальному процесі:

- інновації споживчі;
- інновації інвестиційні.

9. За масштабом:

- інновації складні (синтетичні);
- інновації прості.

Для більш детального аналізу інновацій розглянемо й інші класифікації видів інновацій.

За ступенем радикальності та їхньої значимості в економічному розвитку інновації розрізняють [57]:

- *базисні* – реалізують великі винаходи і стають основою формування нових поколінь і напрямків техніки;
- *поліпшуючі* – реалізуючі дрібні і середні винаходи і переважні у фазах поширення і стабільного розвитку науково-технічного циклу;
- *псевдоінновації* – спрямовані на часткове поліпшення застарілих поколінь техніки і технологій і звичайно гальмуючий технічний прогрес.

За типом новизни для ринку:

- нові вироби для галузі у світі;
- нові вироби для галузі у країні;
- нові вироби для даного інноваційного підприємства.

Інновації тісно пов'язані із науково-технічним процесом (НТП), будучи його результатом. Тому інновації розрізняють за областями застосування та етапами НТП:

- *технічні інновації* з'являються звичайно в виробництві продуктів із новими або поліпшеними властивостями;
- *технологічні інновації* виникають під час застосування поліпшених, більш досконалих способів виготовлення продукції;
- *організаційно-управлінські інновації* пов'язані, насамперед, із процесами оптимальної організації виробництва, транспорту, постачання, збуту;
- *інформаційні інновації* вирішують задачі організації раціональних інформаційних потоків у сфері науково-технічної та інноваційної діяльності;
- *соціальні інновації* спрямовані на поліпшення умов праці, вирішення проблем охорони здоров'я, утворення, культури.

Із погляду технологічних параметрів розрізняють два типи технологічних інновацій: продуктові і процесні.

Продуктові інновації охоплюють упровадження нових чи удосконалених продуктів (застосування нових матеріалів, напівфабрикатів, одержання принципово нових функцій).

Процесні інновації – це освоєння нової або значно удосконаленої продукції, організації виробництва (нова технологія виробництва).

За причинами виникнення інновації:

- *реактивні* – це реакція на нововведення, здійснені конкурентом, тобто фірма змушена зробити інновації слідом за конкурентом, щоб можна було здійснювати боротьбу на ринку;
- *стратегічні* – це інновації, упровадження яких носить характер, що випереджає, із метою одержання конкурентних переваг у *перспективі.*

За спрямованістю впливу на процес виробництва:

- *розширювальні,* спрямовані на більш глибоке проникнення в різні галузі та ринки наявних базисних інновації (комп'ютеризація від обмеженого використання великих ЕОМ до масового застосування ПК);
- *раціоналізуючі* – за суттю, близькі до поліпшуючих;
- *заміщаючі* – призначені для заміни одних (старих) або продуктів технологій іншими, засновані на виконанні тих же функцій.

Існує класифікація видів інновації, що базується на об'єкті:

- *товарна* – впровадження нового продукту;
- *технологічна* – впровадження нового методу виробництва;
- *технічна* – впровадження нового засобу виробництва, модернізація конструкції відомого технічного об'єкта;
- *ринкова* – створення нового ринку товарів і послуг;
- *маркетингова* – освоєння нового джерела постачання сировини;
- *управлінська* – реорганізація структури управління;
- *соціальна* – впровадження заходів з метою покращення життя населення;
- *екологічна* – впровадження заходів з питань охорони довкілля.

Існує класифікація видів інновації, що базується на ринковій сутності інновації:

- *постійні інновації* [55] – такі удосконалення наявних виробів, які не вносять значних змін у спосіб їх використання споживачами;
- *переривчасті інновації* (англ. revolutionary, discontinuous, radical innovation) [55] – повністю нові вироби, які вимагають від споживачів

зусиль для прийняття нових звичок щодо їх використання, але істотно не впливають на раніше наявні ринки;

- *підривні інновації* (англ. disruptive innovation) [6, 30] – інновації, які створюють новий ринок завдяки іншим вартостям, які зрештою (і несподівано) розповсюджуються на раніше наявний ринок та повністю його змінюють.

До основних типів інновацій належать [142]:

- *Продуктова інновація (англ. product innovation)* є впровадженням товару або послуги, які є новими або значно поліпшеними у частині їхніх властивостей або способів використання. Наприклад, розроблення нового продукту із новими та корисними властивостями або поліпшення характеристик існуючого продукту. Це включає значні удосконалення в технічних характеристиках, компонентах і матеріалах, у вбудованому програмному забезпеченні, у ступені приязності щодо користувача або в інших функціональних характеристиках [142].

- *Процесова інновація (англ. process innovation)* є впровадження нового або значно поліпшеного способу виробництва або доставки продукту. Це включає значні зміни у технології, виробничому устаткуванні та/або програмному забезпеченні [142]. Наприклад, створення Інтернету, який сам по собі був інновацією та привів до створення інших різноманітних інновацій. Інновації у сфері організації та управління виробництвом не належать до процесних або технологічних інновацій.

- *Маркетингова інновація* (*англ. marketing innovation*) є впровадження нового методу маркетингу, що включає значні зміни в дизайні або упакуванні продукту, його складуванні, просуванні на ринок або в призначенні ціни продажу [142]. *Маркетингові інновації* – реалізація нових або значно покращених маркетингових методів, що охоплюють суттєві зміни у дизайні та упаковці продуктів, використання нових методів продажу та презентації продуктів (послуг), їх представлення та просування на ринки збуту, формування нових цінових стратегій.

- *Організаційна інновація (англ. organisational innovation)* є впровадження нового організаційного методу в діловій практиці фірми, в організації робочих місць або зовнішніх зв'язків [142], тобто удосконалення системи менеджменту.

Підривні (проривні) інновації (англ. Disruptive innovation) – це інновації, які змінюють співвідношення цінностей на ринку. При цьому старі продукти стають неконкурентоздатними просто тому, що

параметри, на основі яких раніше проходила конкуренція, стають неважливими [83].

Прикладами "підривних інновацій" (табл. 1.1) є телефон (замінив телеграф), *wearable*-електроніка (планшети, смартфони, що замінили настільні ПК), пароплави (замінили вітрильні судна), напівпровідники (замінили електровакуумні прилади), цифрові камери (замінили плівкові), електронна пошта ("підірвала" традиційну пошту).

Табл.1.1 – Найпростіші приклади підривних інновацій та заміщених технологій

Підривна інновація	Заміщена технологія
Електрична лампочка	Свічка
Автомобіль	Віз
Транзистор	Електронна лампа
Компакт диск	Аудіокасета
Гармата	Лук
Пароплав	Вітрильник
Телефон	Телеграф
LAN	Модем
Рідкокристалічний дисплей	Дисплей з електронно-променевою трубкою
USB	Послідовний порт

Модель "підривних інновацій" – це теорія Клейтона Крістенсена (Clayton M. Christensen) [83], яку він уперше ввів в 1997 році, у своїй книзі "Дилема інноватора: Як через нові технології гинуть сильні компанії" (The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail). Цю модель можна використати для опису впливу нових (проривних) технологій на функціонування фірми.

Клейтон Крістенсен вивчав причини, завдяки яким світові лідери у своїй галузі нестримно втрачають свої домінуючі позиції, втрачають свою першість, коли на ринку з'являються нові технології. Все змінюється у той момент, коли "підривні технології" знаходять свого покупця, який готовий миритися із недоліками нового товару і якому потрібні нові властивості цього товару. Отримавши такого покупця, нова технологія починає розвиватися, зростають обсяги виробництва,

настає момент, коли нова технологія починає виправдовувати свою назву "Проривна технологія" (англ. *Disruptive technologies*) [83]. У випадках, коли від підривних інновацій загальне виробництво скорочується (новий сегмент по задіюванню ресурсів значно менше сегменту, що став неактуальним) йдеться про закриваючі технології [15].

Радикальні інновації відносяться до типу інновацій, який передбачає розроблення абсолютно нових продуктів, послуг, процесів або бізнес-моделей, які суттєво руйнують або трансформують існуючі ринки або галузі. Тому радикальні інновації створюють нові з нуля (рис. 1.5) [144]. Цей процес значно відрізняється від поступових інновацій, які включають поступовий прогрес і вдосконалення існуючих продуктів, послуг або процесів. Поетапні інновації також вимагають більш короткого часу та менших витрат, ніж радикальні інновації.



Рисунок 1.5 – Приклади радикальних інновацій

Часто плутають радикальні інновації із підривними інноваціями. Тому у табл. 1.2 наведено коротке порівняння цих термінів.

Таблиця 1.2 – Порівняння радикальних і підривних інновацій

Особливість	Радикальні інновації	Підривна інновація
Обсяг	Фундаментально змінює спосіб виконання чогось	Покращує існуючий продукт або послугу таким чином, щоб зробити його більш доступним або доступним для ширшого кола клієнтів
Цільовий ринок	Новий ринок або сегмент	Існуючий ринок
Зниження	High	Від низького до середнього
Час торгувати	Довше	Короткі
Домінуючі оператори	Часто ігноруються або звільняються посадовими особами	Може бути руйнівним для дійових осіб
Вплив	Може призвести до революції у галузі	Може замінити існуючі продукти або послуги

Важливо розглянути 6 найуспішніших прикладів радикальних інновацій [144]. Ці приклади ілюструють, як радикальні інновації можуть перетворити галузі, створити нові ринки та змінити наш спосіб життя і роботи. Вони також демонструють важливість клієнтоорієнтованості, довгострокового бачення та ухвалення ризику під час реалізації радикальних інновацій.

1. Технологія 3D-друку. Прикладом радикальної інновації є поява на ринку технології 3D-друку у 1988 році. Вона також відома як адитивне виробництво та широко використовується у різних галузях.

На відміну від традиційного виробництва, де економія на масштабі сприяє великим виробничим циклам, 3D-друк забезпечує економічно ефективне виробництво окремих унікальних виробів, що дозволяє пер-

соналізувати масове виробництво. Крім того, 3D-друк здійснив революцію в охороні здоров'я, дозволив виготовляти індивідуальні імплантати, зубні протези і навіть тканини та органи людини.

2. Цифрова камера. Зараз важко зустріти плівкові фотоапарати. Популярними стали цифрові камери, які є ще одним чудовим прикладом радикальних інновацій. Першою компанією, що представила прототип цифрової камери у 1975 році, була компанія Kodak, яка пізніше розробила перший мегапіксельний сенсор. До 2003 року у продажі цифрових фотоапаратів перевершували плівкові фотоапарати.

Цифрові камери мають всі функції плівкових фотоапаратів, а також володіють більш просунутими функціями. Відзняті зображення можна миттєво перевірити на моніторі та за необхідності перезняти без необхідності купувати плівку, що призводить до зниження витрат і більшої зручності.

3. Електромобіль. Десятиліття тому багато хто вважав, що бензиновим автомобілям немає заміни. Проте Тесла довів протилежне. Зростаюча популярність електромобілів (EV) указує на те, що вони є чудовим прикладом радикальних інновацій (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Приклад радикальних інновацій у продуктах та послугах

4. Електронна комерція. Поява Інтернету призвела до буму електронної комерції, яка повністю змінила споживчі звички. Піонер електронної комерції – фірма Amazon є найкращим прикладом радикальних інновацій із погляду трансформації бізнес-моделі. Фірма Amazon диверсифікувала свою діяльність у різних категоріях продуктів, окрім книг,

включаючи електроніку, одяг та навіть послуги хмарних обчислень (Amazon Web Services)

5. Смартфон. Смартфон є прикладом проривних інновацій. До появи смартфонів мобільні телефони були переважно інструментами для голосових дзвінків та обміну текстовими повідомленнями. Поява смартфонів започаткувала зміну парадигми, представивши інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із сенсорним екраном, що дозволяє переглядати веб-сторінки на мобільних пристроях, створивши процвітаючу екосистему додатків.

Одним із найуспішніших виробників смартфонів є фірма Apple. IPhone 4 вперше з'явився в 2007 році, а його пізніші версії залишаються смартфоном, що найбільше продається на основних ринках, таких як Китай, США, Великобританія, Німеччина і Франція. iPhone приніс величезний прибуток фірмі Apple, зробивши його однією з найцінніших публічних компаній у світі.

6. Інтерактивна презентація. "Смерть від PowerPoint" – поширене явище, яке часто використовується для опису невдалого дизайну презентації, що призводить до погіршеного залучення аудиторії. Ось звідки взялася інтерактивна презентація. Вона також вважається успішним прикладом радикальних інновацій у галузі комунікаційних та освітніх технологій. AhaSlides – одна із найпопулярніших платформ для інтерактивних презентацій, яка заохочує участь аудиторії, роблячи аудиторію активними учасниками, а не пасивними слухачами. Така участь може містити відповіді на запитання, участь у опитуваннях або участь у дискусіях.

На швидкість і рівень поширення інновацій впливають такі чинники: переваги інновації порівняно із аналогічними товарами (послугами); сумісність інновації із системою культурних норм, що склалася; рівень складності для розуміння споживачем та простоти апробації; можливість розповсюдження інформації щодо інновації.

1.3. Інноваційні процеси

Інновацію, як результат, необхідно розглядати нерозривно із інноваційним процесом, розвиток якого протікає за такими трьома стадіями: створення, освоєння і поширення інновацій. В основі інноваційного процесу лежить створення, упровадження і поширення інновацій,

необхідними властивостями яких є науково-технічна новизна, практичне їх застосування і комерційна реалізованість з метою задоволення нових суспільних потреб.

Інноваційний процес можна розглядати як комплекс послідовних дій, унаслідок яких новація розвивається від ідеї до конкретного продукту і поширюється під час практичного використання. Перебіг інноваційного процесу, як і будь-якого іншого, визначається складною взаємодією багатьох чинників. Успіх на цьому шляху залежить від управлінського механізму, який об'єднує в єдиний потік витоки наукової ідеї, її розроблення, упровадження результату у виробництво, реалізацію, поширення і споживання.

Ефективність інноваційного процесу визначається лише після впровадження інновації, коли з'ясовується, у якій мірі вона задовольняє потреби ринку.

На відміну від науково-технічного прогресу інноваційний процес не закінчується так званим впровадженням – першою появою на ринку нового продукту, послуги або доведенням до проектної потужності нової технології. Цей процес не переривається і після впровадження, оскільки мірою поширення (дифузією) нововведення вдосконалюється, становиться більш ефективним, набуває нових споживчих властивостей.

Це відкриває для нововведення нові області застосування, нові ринки та нових споживачів, які сприймають даний продукт, технологію або послугу як нові саме для себе. Отже, даний процес спрямований на створення необхідних ринків продуктів, технологій або послуг і здійснюється в тісній єдності з середовищем. Його спрямованість, темпи й цілі, залежать від соціально-економічного середовища, в якому він функціонує і розвивається.

Інноваційний процес охоплює невиробничу сферу, сферу матеріального виробництва та експлуатації. Він є системою етапів, стадій та видів робіт, має складну структуру, базується на сукупності системи знань, наукової і маркетингової діяльності; сукупності засобів праці, що полегшують людську працю і роблять її продуктивнішою (техніка, прилади, устаткування, організація виробництва).

У роботі [57] показано, що *інноваційний процес* – це процес перетворення наукового знання в інновацію, який можна представити як послідовний ланцюг подій, у ході яких інновації визріває від ідеї до конкретного продукту, технології. Як зазначено раніше, цей процес не

закінчується впровадженням, тобто першою появою на ринку нового продукту. Він не переривається і після впровадження, оскільки в міру поширення нововведення удосконалюється, стає більш ефектним, отримує раніше не відомі споживчі властивості. Отже, цей процес спрямований на створення необхідних ринком продуктів і технологій.

Під час інноваційного процесу не тільки створюються очікувані інноваційні продукти, а й можуть виникати супроводжувальні інновації, які є побічним результатом креативної (творчої) інноваційної діяльності на певному її етапі. На рис. 1.7 наведено структурну модель системи інноваційного процесу щодо промислового виробництва [94].

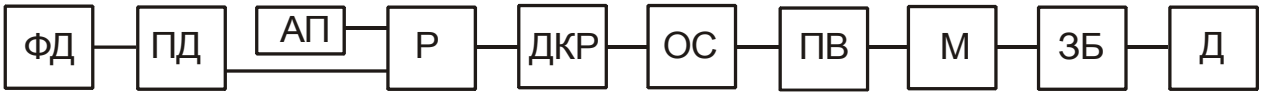


Рисунок 1.7 – Структурна модель системи інноваційного процесу щодо промислового виробництва. Умовні позначення:

ФД – фундаментальні дослідження;

ПД – прикладні дослідження;

Р – розробки пропозицій;

АП – аналіз патентів, винаходів, публікацій;

ДКР – дослідно-конструкторські роботи;

ОС – освоєння промислових виробництв нової продукції;

ПВ – промислове виробництво;

М – маркетинг;

ЗБ – збут продукції;

Д – дифузії, тобто поширення вже один раз успішно впровадженої інновації.

Початкова стадія інноваційного процесу – фундаментальні дослідження (ФД) – спрямовано на отримання нових наукових знань та виявлення найбільш суттєвих закономірностей розвитку природи і суспільства безвідносно до їх конкретного використання. Пріоритетне значення фундаментальних досліджень полягає у генерації ідей, відкритті шляхів у галузі нових теоретичних досліджень, але їх практичний вихід у світовій науці становить приблизно 5 %.

На стадії прикладних досліджень (ПД) встановлюють шляхи практичного застосування відкритих раніше явищ і процесів. Ці розробки на

85 – 90 % знаходять подальше використання. В умовах зменшення асигнувань на науку інноваційний процес може починатися з аналізу патентів, винаходів та різних науково-технічних публікацій з метою розроблення практичних пропозицій, не вдаючись до фундаментальних і прикладних досліджень.

Конкретизація наукових розробок відбувається на стадії ДКР, коли створюються зразки нової техніки, матеріалів або технології, які після відповідних випробувань передаються у серійне виробництво. ДКР на 95 – 97 % застосовують у практиці.

На стадії освоєння відбувається остаточна "матеріалізація" наукових досліджень, проводиться технічна підготовка виробництва і відбувається плавний перехід до промислового виробництва виробів, кількість яких диктується потребою ринку.

Пріоритетне значення "матеріалізації" наукових досліджень належить робочим процесам високих технологій.

Кожна із трьох зазначених вище стадій інноваційного процесу (створення, освоєння і поширення інновацій) вимагає значних фінансових витрат. Процес фінансування інноваційного процесу залежить від структури інноваційної групи, національних особливостей, включаючи ринкові відносини. Так, наприклад, практика організації пошукових досліджень в США породила своєрідну форму підприємництва – ризиковий (венчурний) бізнес, який представляється невеликими фірмами, що спеціалізуються на дослідженнях, розробках, виробництві нової продукції.

Венчурні фірми створюють вчені – дослідники, винахідники, інженери, які прагнуть з розрахунком на матеріальну вигоду втілити в життя новітні досягнення науки й техніки. Ринок венчурного (ризикового) капіталу в США в 1987 році становив 29 млрд. дол., з яких до 70 % фінансувалися такі пріоритетні напрями розвитку галузей, як інформаційна технологія, виробництво нових матеріалів і біотехнологія.

Венчурний капітал формувався завдяки вкладенню коштів великих компаній, банків, держави, страхових, пенсійних та інших фондів, а також особистих заощаджень засновників фірми. При виділенні коштів на фінансування інноваційних проектів, як показав досвід венчурного капіталу 1980-х років, в першу чергу враховувався професіоналізм працівників фірми, а потім, послідовно із послаблюючим впливом, враховувалися: наявність ринкової ніші, технічні можливості фірми, час окупності вкладень, частка участі в фінансованій фірмі.

Одну із технічних систем інноваційного процесу товарного виробництва можна подати у вигляді поєднання наступних елементів: ескізного опрацювання із виготовленням макета або досвідченого зразка, робочого проектування, промислового впровадження, маркетингового дослідження, збуту товару.

На стадії фундаментальних досліджень розробляється теорія питання, яка становить фундамент інновації. Із практики відомо, що лише невелика частина (менше 10 %) фундаментальних досліджень втілюється в нових продуктах або технологіях, значно більше вони проявляються в потенційному зростанні науково-технічного прогресу, в підвищенні сприйнятливості суспільства до інновацій.

В процесі прикладних досліджень складається технічне завдання, яке на основі розроблених ескізного та робочого проектів доводиться до промислового виробництва, при цьому значну увагу приділяють технічній підготовці виробництва.

Як відомо, завершальною стадією інноваційного процесу в умовах ринку є маркетинг та організація збуту продукції, тобто забезпечується комерційна реалізація інновації або новий підхід до соціальних послуг. У високорозвинених країнах світу останні роки цій стадії приділяють особливу увагу, правомірно вважаючи, що одних зусиль навколо наукомісткого виробництва недостатньо, потрібна відповідна комерційна реалізованість товарів, яку забезпечують маркетологи, які володіють знаннями маркетингу.

Інноваційна маркетингова діяльність заснована на вивченні патентів (і ноу-хау), що є джерелом інформації щодо новітніх науково-технічних досягнень, знання яких дозволяє визначити новизну інновацій та прогнозувати напрями і темпи розвитку певних технологій.

Маркетинг визначається як діяльність із вивчення ринку, управління і регулювання виробництва та збуту товарів і послуг із урахуванням інформації щодо кон'юнктури ринку. Маркетингові дослідження є основою для безпосереднього впливу на ціну продукції, параметри виробництва і збуту, умови просування товару (рекламу, стимулювання збуту тощо) [121].

Необхідно зазначити, що в останні роки з'явився значний попит на інноваційні процеси, що мають програмний характер.

Із інноваційним процесом тісно пов'язані такі поняття, як "інноваційний потенціал" і "інноваційна політика".

Інноваційний потенціал – здатність різних галузей економіки виробляти наукомістку продукцію, що відповідає вимогам світового ринку. Інноваційний потенціал містить у собі наукові, проектні та конструкторські розробки, експериментальні послуги, зв'язані із підготовкою нового виробництва, інструмент і оснащення для проведення наукомістких операцій, засоби технологічного контролю тощо.

Інноваційна політика – частина соціально-економічної політики, що визначає мету і пріоритети інноваційної стратегії і механізм її реалізації органами державної влади. Вона повинна складатися із пошуку оптимальних шляхів розвитку суспільства, виявлення перспективних галузей і виробництв їхньої фінансової підтримки; економічного регулювання інноваційних процесів. Отже, *інноваційна політика* – це комплекс організаційних заходів, спрямованих на створення сприятливих умов виникнення і наступного функціонування інноваційної інфраструктури. В інноваційну інфраструктуру включаються організації, фірми, що охоплюють весь цикл здійснення інноваційної діяльності від генерації нових науково-технічних ідей та їхньої обробки до випуску і реалізації наукомісткої продукції.

Поряд із поняттям "інноваційний процес" існує поняття "життєвий цикл інновацій", яке визначає період від зародження ідеї, створення новинки та її практичного використання до моменту зняття із виробництва. Також існує поняття "інноваційний цикл", яке визначає комплексний багаторівневий процес, що триває за певних умов протягом певного проміжку часу, упродовж якого ідея набуває матеріального втілення [82, 113]. Цикл проходить такі стадії: фундаментальні дослідження; практичні дослідження; конструкторські розробки; технологічне освоєння; виробництво; експлуатацію; модернізацію; утилізацію.

1.4. Інноваційні технології

Розглянуті питання інновацій, інноваційної діяльності та інноваційного процесу дозволяють підійти до таких понять як "інноваційний розвиток технологій" та "інноваційні технології".

Інноваційний розвиток технологій – це безперервний процес якісних змін у структурі виробництва або соціальної сфери у результаті створення, застосування та розповсюдження нових знань, машин, технологій.

Як зазначено раніше, *інновація* – це нововведення в галузі техніки, технології, організації праці або управління, засноване на використанні досягнень науки й передового досвіду, що забезпечує якісне підвищення ефективності виробничої системи або якості продукції. *Інновація* – це не будь-яке нововведення, а тільки таке, яке суттєво підвищує ефективність діючої системи.

Технологія – це комплекс організаційних заходів, операцій і прийомів, спрямованих на виготовлення, обслуговування, ремонт та (або) експлуатацію виробів з номінальною якістю та оптимальними витратами.

Виходячи із цього, *інноваційні технології* – це радикально нові або вдосконалені технології, які суттєво поліпшують умови виробництва або самі виступають товаром.

Цим критеріям відповідають, в першу чергу, *високі технології*, які ще називають наукомісткими, прецизійними, ультрапрецизійними, тонкими, нанотехнологіями тощо залежно від тих ознак технологічного процесу або властивостей виробу, які вважають визначальними.

Високі технології – це нетрадиційні найбільш нові та прогресивні технології сучасності, які є найважливішою ланкою науково-технічної революції (НТР) на сучасному етапі [11]. Вони забезпечують високу додану вартість, на цих технологіях заснована інноваційна економіка. Прибуток від реалізації високих технологій формується в основному завдяки інтелекту новаторів і вчених, інформаційної сфери, а не завдяки матеріального виробництва. На відміну від високих технологій традиційну технологію пов'язують із винаходами і машинами. Традиційні технології відображають середній рівень виробництва, досягнутий більшістю виробників даної продукції. Технологія стає традиційною в результаті старіння, коли її заміняє більш сучасна технологія.

До високих технологій відносять: нанотехнології, інформаційні технології, робототехніка, штучний інтелект, 3D-принтери, процесори, біотехнології, соціальні технології тощо. До високих технологій належать найбільш наукомісткі галузі промисловості: мікроелектроніка, обчислювальна техніка, робототехніка, атомна енергетика, літакобудування, космічна техніка, мікробіологічна промисловість.

Високі технології включають:

- напівпровідникові технології: мікро- та наноелектроніка, квантова й оптична електроніка, радіоелектроніка, програмне забезпечення обчислювальної техніки, штучний інтелект, бездротові технології;

- робототехніка й електромеханіка: мікро- й наноелектромеханічні системи (MEMS/NEMS);
- нанотехнології та нові матеріали: технології нанооб'єктів та технології наноструктур, технології нерозмірних нанопараметрів;
- "чисті" технології (Cleantech) та альтернативна енергетика: рециклінг, атомна енергетика, сонячна енергетика, воднева енергетика, технології енергозбереження;
- системи безпеки, контролю та автоматизації: біометрика, системи контролю та управління доступом, датчики та аналітичне обладнання, навігаційні технології;
- оборонні технології й технології подвійного призначення: літакобудування, ракетобудування, космічна техніка;
- живі системи й біотехнології: генна інженерія та генотерапія, біохімія та біофізика, мікробіологічна промисловість.

Наприклад, *бездротові технології* – це мобільний та сотовий зв'язок, засоби передавання інформації за допомогою радіохвиль. *Нанотехнології* – це технології, які працюють із різними об'єктами на молекулярному рівні та застосовуються в медицині, біології та промисловості.

Програмне забезпечення – це комплекс програм, що містять алгоритм виконання дій для комп'ютерів та обчислювальних машин. Інакше кажучи, це мова спілкування із комп'ютерним світом, що перебуває в постійному розвитку. Програми розподілять на системні, прикладні та інструментальні. Системні програми призначено для управління комп'ютером, у результаті чого комп'ютер знає, як реагувати на натискання клавіші, рух мишкою та вставку диска в дисковод. До системних програм належать: операційна система, драйвери та утиліти. Прикладні програми мовби додають до операційної системи, установлюють у неї як корисні доповнення, але орієнтованих не на управління обладнанням, а на взаємодію комп'ютера з людьми. Це програми для створення документів, швидкого відправлення електронної пошти, редагування зображень, прослуховування аудіо й огляду відео, наукових і дослідних робіт, усілякого проектування. До простих інструментальних програм належить HTML-редактор, призначений для створення сторінок в інтернеті.

Системи безпеки – це системи вуличної купольної камери відеоспостереження, контролю та управління доступом, датчики, інтегровані

системи безпеки, біометрія, тобто розробки найбільш затребуваних засобів забезпечення безпеки на різних об'єктах.

Навігаційні технології – це технології супутникового дослідження транспорту. Їх упроваджують у різних галузях машинобудування, ракетобудування, вантажоперевезень, нафтогазової промисловості.

Технології подвійного призначення – це в основному сучасні матеріали, обладнання, науково-технічна інформація, що застосовують для створеня військової техніки, але можуть бути використані і в мирних цілях. Їх призначено для літакобудування, ракетобудування, створення космічних апаратів тощо.

Робототехніка – це прикладна наука, що займається розробленням автоматизованих технічних систем та є найважливішою технічною основою розвитку виробництва.

До високих технологій належать не тільки виробничі технології, а й соціальні технології, наприклад, системи поширення інформації, технології колективної праці та навчання, тобто високі соціальні технології.

Соціальні технології – це система практичних знань і способів вирішення завдань із управління соціальною поведінкою людей, які займаються процесами соціального планування й соціального проектування. Ця система займається створенням і зміною соціальних структур. Вона грунтується на теоретичних розробках деяких соціальних наук: соціології, теорії соціальної організації й управління, психології – розробляє послідовність дій для вирішення соціальних завдань на практиці. Соціальні технології займаються частковими соціальними завданнями, наприклад, завданнями підвищення продуктивності праці; оптимізації відносин у колективі; удосконаленням управління й керівництвом політичною обстановкою; політичним маркетингом; політичною рекламою; виборчими технологіями. Глобальними суспільними перетвореннями соціальні технології не займаються.

Високі технології забезпечують високу додану вартість, на цих технологіях засновано інноваційну економіку (економіку знань, інтелектуальну економіку). Прибуток від реалізації високих технологій формують переважно за допомогою інтелекту новаторів і вчених, інформаційної сфери, а не за матеріального виробництва (індустріальної економіки) і концентрації фінансів (капіталу). Високі технології характеризуються:

- наукомісткістю (новітніми досягненнями, результатами фундаментальних досліджень);

- системністю (взаємозв'язком елементів технологічних систем);
- оптимізаційним моделюванням;
- високоефективними робочими процесами;
- комп'ютерним робочим середовищем, яке автоматизує всі етапи та реалізації;
- стійкістю та надійністю;
- гарантованою якістю;
- раціональністю природокористування;
- екологічністю.

Пріоритетне значення "матеріалізації" наукових досліджень належить робочим процесам високих технологій. Однозначного визначення цього напряму в технології немає. У роботі [69] зазначено, що робочі процеси високих технологій є самостійним технологічним напрямом у межах загальних технологій, а "високими слід вважати такі технології, які, володіючи сукупністю основних ознак, наведених раніше, і за відповідного технічного та кадрового забезпечення (прецизійне оснащення й інструмент, певний характер робочого технологічного середовища, система діагностики, комп'ютерна мережа управління та спеціалізована підготовка персоналу) гарантують виготовлення виробів, що характеризуються новим рівнем функціональних, естетичних та екологічних властивостей. Саме новий рівень таких властивостей виробів за дотримання економічної доцільності й цікавить споживача. Цим гарантовано конкурентоспроможність нової продукції".

До інноваційних технологій відносяться *перспективні технології* – це інноваційні досягнення або новітні технології в різних наукових, промислових і суспільних областях, які мають потенціал значного впливу та вдосконалення існуючих процесів, продуктів або послуг. Ці технології часто демонструють прорив або трансформаційний потенціал у відповідних галузях, вирішуючи існуючі проблеми, підвищуючи ефективність або створюючи нові програми. Термін охоплює широкий спектр дисциплін, таких як науки про життя, охорона здоровя, здоров'я, інженерія, матеріалознавство, обчислювальна техніка, сталий розвиток тощо. Ретельно відстежуючи та впроваджуючи перспективні технології, дослідники, професіонали та політики можуть використати свій потенціал для досягнення прогресу, покращення якості життя та сприяння економічному зростанню.

Перспективні технології також охоплюють широкий спектр різних технологій, таких як освітні технології, інформаційні технології, нанотехнології, біоінженерія, когнітивна наука, робототехніка, транспорт, і штучний інтелект тощо (рис. 1.8).

Нові технологічні напрями можуть бути результатом технологічної конвергенції різних областей знань, що приводять до створення нових перспективних технологій і напрямів. Прикладами таких областей є методи адаптивного керування теорії управління та методи розпізнування мовлення та образів тощо.

Перспективні технології дозволяють отримати технічні нововведення, які представляють собою прогресивні розробки та забезпечують переваги в конкурентні переваги та резерви для стійкого економічного зростання. Таким чином країни, що розробляють перспективні технології зосереджуються на напрямах розроблення нової продукції та експорту технологій, інші – на виробництві, треті – на добуванні сировини.

Перспективні технології та інноваційні методи з'являлися і розроблялися у всі часи. Деякі з цих технологій є результатом теоретичних досліджень, інші – практичних розробок і спостережень. При цьому поява нових, перспективних технологій звичайно призводить до заміни технологій, що базувалися на попередніх досягненнях, та робить такі технології зайвими. Прикладами таких технологій у різні часи були заміна кінних екіпажів на автомобільному транспорті машинною тягою, заміна пристроїв запису на магнітний дріт пристроями запису на магнітну плівку, потім на магнітні диски, розгортання технологій DVD тощо.

Перспективні технології стосуються інновацій, відкриттів або досягнень, які мають потенціал для створення значного позитивного впливу на різні аспекти суспільства, включаючи, але не обмежуючись цим, економіку, навколишнє середовище, охорону здоров'я та загальну якість життя. Ці технології часто характеризуються своєю трансформаційною природою, здатністю вирішувати існуючі виклики та потенціалом відкривати нові можливості.

Одним із основних критеріїв оцінювання перспективних технологій є їхній потенційний вплив на суспільство, промисловість та навколишнє середовище. Це включає оцінювання обсягу та величини їхніх переваг, таких як здатність покращувати рівень життя, вирішувати глобальні виклики або сприяти економічному зростанню.



Рисунок 1.8 – Інформаційні технології

Здійсненність стосується технічної та практичної життєздатності технології. Це поточний стан досліджень, наявність ресурсів та наявна інфраструктура. Перспективна технологія повинна мати розумний рівень здійсненності, щоб забезпечити її остаточне впровадження та інтеграцію в суспільство.

Масштабованість – це здатність технології рости й розширюватися, щоб відповідати зростаючим вимогам або адаптуватися до нових умов. Багатообіцяюча технологія має продемонструвати потенціал масштабованості, що дозволить її розгортати у більшому масштабі та охопити ширшу аудиторію. Це гарантує, що переваги технології можуть бути розподілені між різними громадами, галузями та регіонами.

Час виходу на ринок означає період, необхідний для переходу технології від стадії досліджень і розробок до комерціалізації та широкого впровадження. Для перспективних технологій бажано скоротити час виходу на ринок, оскільки це дозволяє швидше реалізувати переваги. Чиннки, які можуть вплинути на час виходу на ринок, включають нормативні перешкоди, інвестиційні вимоги та наявність конкуруючих технологій.

Ландшафт перспективних технологій постійно змінюється, оскільки здійснюються нові відкриття та продовжують розвиватися існуючі технології. Тому вкрай важливо постійно контролювати та переоцінювати потенціал цих технологій у світлі нової інформації та розробок. Це гарантує ефективний розподіл ресурсів і пріоритетність найефективніших технологій. Крім того, безперервний моніторинг і повторне оцінювання можуть допомогти виявити будь-які нові виклики або ризики, пов'язані з технологією, дозволяючи вжити проактивних заходів для їх вирішення. Це особливо важливо, враховуючи потенційні етичні та суспільні наслідки певних перспективних технологій. Залишаючись поінформованим і чуйним, суспільство може максимізувати переваги цих технологій, мінімізуючи будь-які потенційні негативні наслідки.

Приклади новітніх перспективних технологій:

- Штучний інтелект і сильний штучний інтелект – розділ комп'ютерної лінгвістики та інформатики, що займається формалізацією проблем і завдань, які нагадують завдання, виконувані людиною. Застосовується в системах класифікації, прийняття рішень тощо.
- Стійка енергетика та навколишє середовище: відновлювані джерела енергії, накопичення енергії, термоядерна енергетика, уловлю-

вання вуглецю та геоінженерія матимуть вирішальне значення для пом'якшення зміни клімату та досягнення сталого майбутнього.

- Охорона здоров'я та біомедицина: доказова медицина, персоналізована медицина, превентивна медицина, біомедична інженерія, регенеративна медицина, штучний інтелект в медицині, наномедицина, генотерапія, редагування геному, телемедицина те медична візуалізація покращать якість, ефективність і доступність медичної допомоги та покращать загальний добробут населення. Уповільнення старіння, яке збільшує середню тривалість життя всього на один рік, має цінність для суспільства в 38 трильйонів доларів США на рік (на прикладі США, це приблизно 1,5 ВВП США).
- Біотехнології та біоінженерія: інновації вгенній та клітинній інженеріях, синтетичній біології, можуть революціонізувати охорону здоров'я, сільське господарство, виробництво та інши галузі.
- Робототехніка – прикладна наука, що займається розробленням автоматизованих технічних систем (роботів). Застосовується для створення роботів і робототехнічних систем, призначених для автоматизації складних технологічних процесів і операцій, у тому числі в умовах, що вимагають заміни людини під час виконання важких і небезпечних робіт.
- 3D-друк і друк органів – це одна з форм технологій адативного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку) відповідно до цифрової моделі виробу. Застосовується для виробництва деталей складної геометрії.
- Освоєння космосу та матеріалознавство: колонізація космосу, матеріалознавство, інженерія та нанотехнології дозволять людству вийти у космос і створювати інноваційні рішення в багатьох галузях.
- Стале та відновлювальне сільське господарство: органічне землеробство, точне землеробство, очищення води, утилізація відходів, вертикальне землеробство, культивоване м'ясо, сільськогосподарський робот, моніторинг навколишнього середовища та цифровізація і інтеграція технологій як блокчейн, інтернет речей та штучний інтелект будуть важливими для сталого, багатого майбутнього.
- Нанотехнології (англ. *nanotechnology*) – область фундаментальної і прикладної нанонауки, в якій вивчають закономірності фізичних і хімічних систем на рівні декількох нанометрів або часток нанометра. Засто-

совується для отримання матеріалів з унікальними фізико-хімічними властивостями.

- Біохакінг, омолодження та удосконалення людини – практика використання науки та технологій для зміни або покращення функціонування людського тіла.

Прикладом інноваційної технології є інтегроване навчання: технології групової навчальної діяльності; профільне навчання; інформаційні технології навчання; інтерактивні технології ситуативного моделювання та дискусійних питань; проектні технології; створення предметно-орієнтованих та навчально-інформаційних середовищ, які дають можливість використовувати мультимедіа, системи гіпермедіа, електронні підручники тощо; нестандартні форми занять (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Інновації у навчанні

За останнє десятиліття світ став свідком квантового стрибка у технологіях. Інновації, такі як смартфони, планшети, 3D-друк для штучного інтелекту та блок-ланцюжок суттєво змінили світ. Значним потенціалом для формування майбутнього мають такі 10 інновацій [135]:

- емоційний прибережний інтелект;
- самостійне водіння автомобілів;
- нові мобільні інновації, такі як надшвидкісні потяги;
- розумні будинки;
- прогнози генів;
- мікрочіпи та аугментація людини;
- нанороботик;
- роботик;
- друкована їжа;
- зелена технологія.

1. Емоційний прибережний інтелект

Сама ідея штучного інтелекту (ШІ) полягає в тому, щоб копіювати людські здібності. Від Карт Google до соціальних мереж і роботів-пилососів, скрізь стикаємося із ШІ. Штучний емоційний інтелект (або афективний ШІ) йде ще далі, збираючи дані щодо обличчя, голосів та мови тіл для вимірювання людських емоцій. Наприклад, MIT Media Lab розробляє пристрій для визначення настрою людини, відстежуючи його серцебиття. Потім пристрій випромінює різні аромати, залежно від настрою користувача. Якщо користувач відчуває занепокоєння або стрес, збільшення серцевих скорочень призведе до того, що прилад видаватиме аромат, наприклад, лаванди, щоб зменшити занепокоєння.

2. Самостійне водіння автомобілів

Самохідні машини – це щось нове, вони вже давно на наших дорогах. Однак майбутні досягнення дозволять створити повністю автономні автомобілі та можуть призвести до одного із найзначніших змін у нашому повсякденному житті. Tesla вже має складний режим автопілота, який може взяти на себе деякі функції керування, але автовиробники сподіваються, що скоро будемо їздити повністю в режимі гучного зв'язку.

3. Нові мобільні інновації, такі як надшвидкісні потяги

Hyperloop, компанія, яку підтримує Елон Маск, вже працює над високошвидкісною системою підземного транспорту, яка зараз тестується в Америці. Очікується, що шлях із Нью-Йорка до Вашингтона займе лише 29 хвилин замість 2 годин 56 хвилин. Таким чином, надшвидкісні потяги можуть революціонізувати не лише громадський транспорт, а й міжнародні подорожі. Літаючі машини – це ще одна можливість. Вже є багато таких цікавих конструкцій машин.

4. Розумні будинки

Електронні пристрої та освітлення вже керуються інтелектуально та за допомогою голосу. Це полегшують життя багатьом сім'ям. Але в майбутньому технології "розумного будинку" будуть набувати набагато більш просунутих і багатофункціональних форм. Наприклад, дослідники працюють над програмою, яка визначає, коли ви прокидаєтеся, і допомагає вам із ранковою рутиною, наприклад, регулює температуру в приміщенні та автоматично включає кавоварку. Технології, які працюють одночасно, можуть бути кориснішими, ніж системи, які роблять лише одну із цих речей одночасно.

5. Прогнози генів

Сьогодні генетика і геноміка отримали швидкий розвиток. Генетичні прогнози можуть революціонізувати роботу медицини. У майбутньому прогнози стану здоров'я можна буде зробити залежно від генів людини. Можна передбачити такі захворювання, як хвороби серця або діабет, що дозволить прискорити лікування. Цей розвиток може прокласти шлях до персоналізованої медицини.

6. Мікрочіпи та аугментація людини

Злиття біології та технології найменших чіпів. Вже сьогодні кілька тисяч німців носять під шкірою мікрочіп, щоб зробити повсякденне життя комфортнішим. Наприклад, на таких імплантатах можуть зберігатись медичні або особисті дані.

Рольова гра "Кіберпанк 2077" переносить гравців у світ, в якому досягнення медицини і робототехніки призвели до того, що люди стали більшими, ніж звичайна людина. Незважаючи на те, що ми ще живемо далеко від такого нормального життя, використання біотонічних кінцівок також не є чимось новим і для нас сьогодні. Дослідники також вивчають, як у майбутньому можна збільшити спину або очі. Одним із прикладів може бути eSight, який дає сліпим людям шанс знову побачити.

Роботизовані екзоскелети вже використовуються військовими для того, щоб надати солдатам додаткові сили і здібності для полегшення їхньої роботи. У майбутньому такі можливості можуть допомогти інвалідам легше пересуватися.

7. Нанороботик

Робот мінімального розміру в мікро- та нанометричному діапазоні, що використовується в медицині, є нанороботом. Вони будуть використовуватися, зокрема, для того, щоб у майбутньому помістити наркотики

в потрібне місце в оці або для знищення та виявлення ракових клітин та токсинів. Вони також можуть використовуватися для ремонтування зайнятих органів або проведення складних хірургічних процедур, що означає менший час перебування в лікарні, короткий час відновлення, а також меншу кількість шрамів.

8. Роботик

Прогрес у галузі робототехніки величезний. NASA вже посилає до космосу роботів різних форм і розмірів, і роботи також беруть на себе все більш стомлюючі, набридливі та небезпечні завдання на робочому місці або вдома, виконуючи роботу по дому. Boston Dynamics постійно працює над машинами для надання допомоги військовим і всього кілька місяців тому виставив на продаж свого нового роботизованого собаку, що викликало справжній ажіотаж.

9. Друкована їжа

Технології революціонізують і їжу. У міру розвитку технології 3D-друку компанії вже експериментують із продуктами для друку. М'ясо вирощується в лабораторії без додавання антибіотиків або гормонів росту.

10. Зелена технологія

В умовах глобального потепління, екологічних проблем та проблем із ресурсами "зелені" технології можуть стати важливим рішенням. Електроенергія може вироблятися із стічних вод або відходів, а нові технології можуть перетворити викинутий пластик на матеріал для мощення доріг та тротуарів.

1.5. Напрями розвитку інноваційної діяльності

Інноваційна діяльність як бізнес-процес складається із наступних основних стадій: пошук інноваційних ідей; відбір найперспективніших ідей; оцінка життєздатності відібраних ідей; розроблення детального бізнес-плану інноваційного проекту; експертна оцінка бізнес-плану; експериментальне виробництво інноваційного продукту; коригування схеми виробництва; просування інноваційного продукту; масове виробництво інноваційного продукту.

Інноваційна ідея – це реальна можливість виробництва оригінального товару, продукту, послуги, нової марки. Нові ідеї можуть бути різними за цінністю та перспективністю. Для пошуку та генерації ідей щодо інновації застосовуються методи дослідження ринку, техніка

творчого пошуку із використанням знань, інтуїції, інтелекту. Розрізняють логіко-систематичні методи та інтуїтивно-творчі методи.

Серед логіко-систематичних методів найбільшої популярності набули: техніка анкет властивостей характеристик товару, метод вимушених відносин, морфологічний метод. Техніка анкет властивостей характеристик товару використовується для пошуку творчих ідей щодо покращення товару. Метод вимушених відносин виходить із комбінації властивостей наявних товарів. Морфологічний метод ґрунтується на принципах структурного аналізу та включає наступні етапи: опис проблеми, розкладання проблеми на окремі компоненти, альтернативні рішення для кожного компонента, комбінації альтернативних рішень, вибір та реалізація альтернативи.

Інтуїтивно-мистецькі методи базуються на принципі цілісного розгляду проблеми. Найбільш відомими методами цього виду є "мозкова атака" та синектика. Метод "мозкової атаки" або "мозкового штурму" ґрунтується на принципах асоціації мислення та творчих міркувань і передбачає проведення дискусій. При цьому необхідно дотримуватися таких умов: в обговоренні мають приймати участь від 5 до 15 осіб; тривалість засідань – від 15 до 30 хв; рівноправність усіх учасників засідання; заборона критики; тематика проблеми повідомляється учасникам засідання безпосередньо перед відкриттям; оцінка ідей здійснюється у період від 3 до 5 днів після засідання.

Сеанс відбувається у два етапи. Під час першого етапу допускається висування навіть абсурдних, здавалося б, ідей. Чим більше ідей, тим краще. Критика ідей забороняється. Вважається, що передчасна оцінка їх може вбити творчий інтерес, особливо у нефахівців. Весь перебіг сеансу записується. На другому етапі висунуті ідеї уважно вивчаються та аналізуються висококваліфікованими фахівцями-експертами та оцінюються за допомогою спеціальних таблиць критеріїв, розроблених заздалегідь. При цьому відбираються найцінніші ідеї, які найбільше відповідають критеріям. Ефективність "мозкового штурму" знижується із постійним залученням тих самих осіб, наявності у групі сильної особистості, невисокої кваліфікації фахівців, що залучаються, а також за великою кількістю учасників.

В основу синектики закладено принцип відчуження від вихідної проблеми, що дозволяє шляхом використання аналогій з інших сфер життя знаходити правильні рішення. Процес пошуку включає наступні

етапи: вивчення проблеми; аналіз проблеми та роз'яснення експертам; тестування проблеми; формулювання спонтанних рішень оцінювання керівником розуміння проблеми; освіта аналогії; створення зв'язків між аналогією та проблемою; перехід до проблеми; розроблення рішення. Метод синектики вимагає дотримання таких умов: в обговоренні приймають участь 5 – 7 осіб; попередньо учасники проходять навчання; тривалість засідання 90 – 120 хв; забезпечення наочності шляхом фіксування окремих результатів.

До інтуїтивно-творчих методів належить і дельфійський метод.

Процес відбору ідей включає перевірку ідеї на реакцію ринку. Використовуються чек-листи та оціночні школи. Чек-лист призначений для оцінювання чинників ризику в інноваційному процесі товару і містить, як правило, таку інформацію: ризик підприємства, ризик ринку, технологічний ризик, ризик витрат, ризик часу, фінансовий ризик, ризик збуту, кооперації, прийняття рішень, визначення ціни та економічний ризик.

Запитання для самостійного контролю

1. Сутність поняття "інновація".
2. Чим відрізняються поняття "інновація", "новітність" та "нововведення"?
3. Сутність понять "інноваційна діяльність" та "інноваційний розвиток".
4. Сутність класифікацій інновацій за ознаками.
5. Що таке "продуктові" та "процесні" інновації?
6. У чому сутність інноваційного процесу?
7. Які елементи включає структурна модель інноваційного процесу сучасних промислових технологій?
8. Порівняйте радикальні інновації із підривними інноваціями.
9. Сутність понять "інноваційні технології" та "високі технології".
10. Наведіть приклади застосування інноваційних технологій.
11. Де застосовують високі технології?
12. Чим відрізняються нанотехнології від традиційних технологій?
11. Сформулюйте визначення поняття "інформаційні технології".
12. Назвіть напрями розвитку інноваційної діяльності.

Література: [2, 6, 11, 15, 30, 55, 57, 69, 82, 83, 87, 94, 113,119, 121, 133,135, 142, 144, 146].

Розділ 2. Високі технології

2.1. Сутність цифрових технологій

Сучасний світ спостерігає швидкий і постійний розвиток технологій. У зв'язку з тим, що цифрові технології відіграють важливу роль у цьому процесі, вони стають предметом все більшої уваги та досліджень [156]. Тому важливо розглянути сутність цифрових технологій і шляхи їх практичного використання та зробити висновки щодо важливості цих технологій для нашого сучасного суспільства.

Обробка, зберігання та передача цифрових даних називається *цифровими технологіями*. Отже, цифрові технології базуються на використанні електронних або комп'ютерних засобів для збору, обробки та передачі інформації. Вони включають різноманітні аспекти, такі як комп'ютери, програмне забезпечення, мобільні пристрої, Інтернет, штучний інтелект, віртуальну реальність, блокчейн, Інтернет речей та багато інших (рис. 2.1).

Цифрові технології включають наступні ключові аспекти:

1. Цифрову обробку інформації: основний принцип цифрових технологій полягає в обробці інформації в цифровому вигляді. Цифрові технології базуються на бінарному коді. Це означає, що дані надають за допомогою набору чисел 0 або 1, а потім їх обробляють. Це дозволяє надійно зберігати, передавати та обробляти дані.

2. Програмне забезпечення та алгоритми: алгоритми – це послідовність інструкцій, які використовують в цифрових технологіях для обробки даних. Ці алгоритми пов'язані із програмним забезпеченням, яке також контролює функціональність різних пристроїв і систем.

3. Апаратне забезпечення: цифрові технології вимагають спеціалізованого апаратного забезпечення, такого як мікроконтролери, смартфони, комп'ютери та інші електронні пристрої, які обчислюють і обробляють дані.

4. Збереження та передача даних: велику кількість даних можна зберігати на цифрових носіях, таких як хмарні сховища, флеш-накопичувачі та жорсткі диски, завдяки цифровим технологіям. Крім того, вони дозволяють швидко передавати дані через різні мережі зв'язку, включаючи Інтернет.









Рисунок 2.1 – Цифрові технології

5. Споживання та обмін інформацією: завдяки цифровим технологіям можна споживати та ділитися інформацією в різних форматах, таких як текст, зображення, відео та аудіо. Це відкриває нові можливості для спілкування, освіти, розваг і роботи.

6. Забезпечення безпеки даних: у забезпеченні безпеки даних цифрові технології також мають важливе значення. Конфіденційність і цілісність даних зберігаються за допомогою методів шифрування, таких як криптографія.

Загалом цифрові технології впливають на те, як сучасні суспільства функціонують і взаємодіють із своїм навколишнім світом. Вони полегшують багато сфер життя, від комунікації до науки, і є важливою частиною інновацій і розвитку технологій.

Переваги використання цифрових технологій:

1. Швидкість і ефективність: цифрові технології можуть обробляти інформацію та завдання набагато швидше, ніж ручна робота. У результаті зростає продуктивність і швидкість виконання завдань.

2. Збереження та доступ до даних: завдяки цифровим технологіям можна зберігати величезні кількості даних на електронних носіях і в хмарних сховищах. Це полегшує доступ до даних.

3. Спрощення комунікації: завдяки цифровим технологіям можна швидко та легко спілкуватися через електронну пошту, соціальні мережі, відеоконференції та інші інструменти.

4. Автоматизація процесів: використання цифрових технологій полегшує управління бізнесом, виробництвом та іншими сферами.

5. Покращення якості послуг і продуктів: завдяки використанню цифрових технологій можна оптимізувати процеси та покращити якість продуктів і послуг, що призводить до більшого задоволення клієнтів і споживачів.

Недоліки використання цифрових технологій:

1. Приватність і безпека: збільшення обсягів зберігання та обміну даними може підвищити ризики для приватності і безпеки даних. Вразливості в мережевому зв'язку і злами можуть призвести до витоку конфіденційної інформації та її незаконного використання.

2. Залежність від технологій: велика залежність від цифрових технологій може стати загрозою, оскільки проблеми в різних сферах життя можуть виникнути в результаті неполадок або відмов систем.

Люди можуть стати залежними від смартфонів та інших гаджетів, що може вплинути на їх психічне здоров'я.

3. Соціальна ізоляція: використання цифрових технологій може призвести до соціальної ізоляції, оскільки люди можуть витрачати більше часу в онлайн-середовищі замість спілкування в реальному світі.

4. Відчуженість від природи: збільшення використання цифрових технологій може привести до відчуження від природного середовища і природи.

5. Нерівність доступу до цифрових технологій: деякі люди не мають достатнього доступу до цих технологій, що може привести до поглиблення соціальних і економічних нерівностей.

6. Кіберзлочинність: зростаюча кіберзлочинність призводить до крадіжок, шахрайства та інших кіберзагроз.

7. Втрата робочих місць: автоматизація та роботизація можуть привести до втрати робочих місць у певних галузях.

8. Фальшиві новини і дезінформація: Інтернет може бути поширювачем фальшивих новин і дезінформації.

9. Негативний вплив на здоров'я: можливий негативний вплив екранів комп'ютерів і смартфонів на зір і сон.

10. Екологічні аспекти: виробництво і використання електронних пристроїв впливають на довкілля через споживання енергії та обробку відходів.

Загалом цифрові технології мають плюси і мінуси. Тому важливо правильно використовувати їх, щоб досягти найкращих результатів із забезпеченням якості життя та безпеки.

Приклади застосування цифрових технологій

Цифрові технології характеризуються широким спектром інструментів і ресурсів, які містять інформацію, представлену у різних форматах, і які базуються на різноманітних девайсах і пристроях. На сьогодні термін "цифрові технології" стає більш сучасним і зрозумілим для нового покоління, і він охоплює всі комп'ютерні, електронні, інформаційні, інформаційно-комунікаційні та телекомунікаційні технології.

Цифрові технології використовують в різних галузях життя. Деякі з найбільш відомих цифрових технологій включають [16, 36, 41, 43, 79]:

1. Комунікацію: цифрові технології дозволяють людям спілкуватися один із одним на великій відстані та обмінюватися інформацією в

онлайн-середовищі через інтернет, соціальні мережі, електронну пошту, месенджери тощо. Це полегшує спілкування і сприяє зближенню людей навіть у віддалених куточках світу.

2. Економіку: цифрові технології створюють нові можливості для бізнесу, включаючи електронну комерцію, онлайн-платформи, фінтех-рішення та інші інновації, які сприяють ефективності та зростанню економіки.

3. Освіту: цифрові технології використовують у навчальних програмах і допомагають зробити освіту більш доступною та інтерактивною. Вони надають можливість вивчати новий матеріал у будь-якому місці та у будь-який час [129, 130, 139].

4. Споживчий ринок: цифрові технології змінили спосіб, за яким можна купувати товари і послуги. Онлайн-шопінг, рейтинги і відгуки споживачів грають важливу роль у виборі продуктів і послуг.

5. Комп'ютерну графіку і відеообробку, яку використовують у кіно, рекламі та розвагах.

6. Розваги: цифрові технології перетворили розваги, зробили доступними онлайн-ігри, потокове відео, віртуальну реальність та інші розважальні платформи.

7. Медицину, де цифрові технології допомагають у діагностиці та лікуванні пацієнтів. Цифрові технології впливають на медицину шляхом розвитку медичних інформаційних систем, телемедицини, штучного інтелекту для діагностики і лікування, а також інших інновацій, що покращують якість медичної допомоги.

8. Зберігання та обробка даних: цифрові технології дозволяють збирати, зберігати і аналізувати великі обсяги даних, що сприяє прийняттю більш обгрунтованих рішень у різних галузях, включаючи науку, бізнес і громадську політику.

9. Кібербезпеку: зростання цифрових технологій призводить до зростання кіберзагроз та потреби в захисті інформації і кібербезпеці.

10. Електронну торгівлю, яка дозволяє здійснювати покупки і продажі через Інтернет.

11. Автоматизацію виробництва, де роботи та автоматичні системи керуються цифровими технологіями.

12. Штучний інтелект та машинне навчання (Machine Learning): ці технології використовують для створення систем, які можуть навчатися

та приймати рішення на основі даних. Приклади включають системи рекомендацій, автономні автомобілі та чат-боти.

13. Інтернет речей (Internet of Things, IoT): IoT дозволяє фізичним об'єктам, таким як побутові пристрої, транспортні засоби і промислове обладнання, підключатися до Інтернету та збирати і повідомляти дані. Наприклад, смарт-термостати, які можуть дистанційно контролювати температуру вдома.

14. Блокчейн (Blockchain): основною метою використання цієї технології є безпечне збереження та обмін даними за допомогою розподілених баз даних. Відслідкування постачання та криптовалюта – це лише деякі із багатьох використань.

15. Віртуальну реальність (Virtual Reality, VR) та розширену реальність (Augmented Reality, AR): за допомогою комп'ютерних сенсорів і візуальних ефектів ці технології можуть створювати іммерсивні віртуальні середовища або розширювати реальний світ. Їх використовують у різних сферах, включаючи ігри, освіту, медицину і рекламу.

16. Цифрові платформи для музики і стрімінгового відео: сервіси, такі як Spotify, Netflix та YouTube, дозволяють користувачам отримувати доступ до музики і відео онлайн.

17. Телемедицину: цифрові технології дозволяють проводити консультації із лікарями в режимі онлайн, надсилати медичні дані та отримувати діагнози і поради дистанційно.

18. Електронний уряд (E-Government): уряди використовують цифрові технології для надання громадянам онлайн-послуг, таких як оплата податків, видача паспортів і реєстрація автомобілів.

19. Цифрові військові технології: військові використовують цифрові технології для розвідки, кіберзахисту, дронів та інших аспектів оборони і безпеки.

20. Електронну книгу (E-Book): цифрові технології дозволяють читачам завантажувати і читати книги на електронних пристроях, таких як електронні читачі та смартфони.

Вплив цифрових технологій на освіту і навчання

Цифрові технології значно впливають на освіту і навчання в різних аспектах. Ось деякі способи, якими це відбувається:

1. Доступ до знань: Інтернет та онлайн-ресурси відкривають широкі можливості до знань, вони стають доступними для всіх. Люди мо-

жуть навчатися онлайн, вільно отримуючи доступ до величезної кількості інформації та навчальних матеріалів.

2. Онлайн-курси і платформи: платформи навчання, такі як Coursera та інші надають можливість навчатися онлайн і отримувати сертифікати від університетів і організацій із високою репутацією.

3. Віртуальна реальність і розширена реальність: ці технології дозволяють створити іммерсивні навчальні середовища, що роблять навчання більш захоплюючим і ефективним.

4. Можливості для дистанційного навчання: цифрові технології дозволяють навчатися дистанційно.

5. Оцінювання і звітність: технології допомагають збирати дані щодо навчання та оцінювати прогрес учнів більш об'єктивно і ефективно.

Перспективи розвитку цифрових технологій у майбутньому

1. Штучний інтелект та машинне навчання: розвиток штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання продовжуватиметься, що приведе до створення більш розумних систем, здатних вирішувати складні завдання в більш широкому спектрі областей (рис. 2.2).

2. Інтернет речей: розширення Інтернет речей обіцяє підключити ще більше пристроїв і об'єктів до Інтернету, що сприятиме збору та обміну даними, покращить автоматизаціюі контроль над пристроями.

3. Розширена реальність і віртуальна реальність: розширена та віртуальна реальності можуть знайти широке застосування в освіті, медицині, розвагах і багатьох інших галузях.

4. Кібербезпека: розвиток цифрових загроз приведе до постійного вдосконалення кібербезпеки і розроблення нових методів захисту даних і систем.

5. Блокчейн: технологія блокчейну може знайти застосування у фінансах, логістиці, медицині та багатьох інших галузях для забезпечення безпеки і достовірності даних.

6. Медицина і біотехнології: розвиток цифрових технологій у сфері медицини може привести до створення персоналізованих ліку-вань та інноваційних методів діагностики.

7. Споживацькі технології: розвиток сучасних гаджетів, смартфонів, гарнітур та інших пристроїв може далі полегшити наше повсякденне життя і комунікацію.

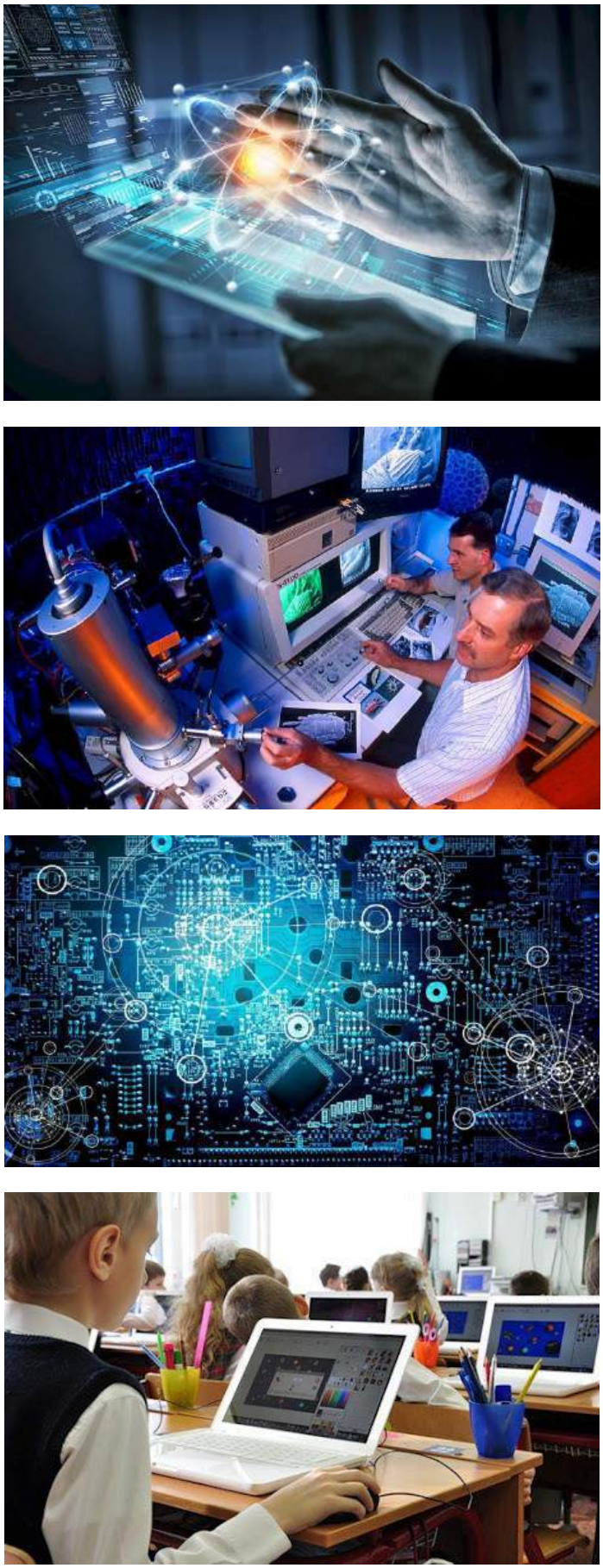


Рисунок 2.2 – Застосування та розвиток цифрових технологій

Таким чином, цифрові технології в сучасному світі відіграють ключову роль у різних аспектах життя суспільства. Вони трансформують комунікацію, розвивають економіку, полегшують доступ до освіти, покращують медичну допомогу, перетворюють розваги. Тому сучасний світ потребує цифрових технологій, оскільки вони впливають на майже кожну сферу життя, забезпечуючи швидку та ефективну обробку даних, спрощення багатьох процесів і підвищення якості життя. Розуміння сутності цифрових технологій допомагає використовувати їх для досягнення соціальних цілей і створення нових інновацій.

Однак при цьому важливо враховувати недоліки цифрових технологій, такі як приватність і безпека даних, залежність від технологій, кіберзлочинність та інші аспекти.

Майбутність цифрових технологій обіцяє багато нових можливостей і викликів. Розвиток штучного інтелекту, Інтернету речей, розширеної та віртуальної реальності, кібербезпеки принесе інновації та поліпшення у багатьох галузях.

2.2. Сутність мікротехнології та мікроелектроніки

Мікротехнологія – це способи реалізації процесів виготовлення структур, характерні розміри яких вимірюються мікронами. Історично процеси мікротехнології використовують у мікроелектроніці для виробництва інтегральних схем [54, 78].

Застосування процесів мікротехнологій поширилося на початку 1990-х років із появою та масовому виробництву мікроелектромеханічних систем (МЕМС), аналітичних мікросистем, твердих дисків, рідкокристалічних дисплеїв, сонячних панелей тощо (рис. 2.3). Завдяки спільним рисам оригінальних технологічних методів, що набули поширення, та їх універсальності, ці технології сформувалися до кінця XX століття у науково-технічний напрям, який отримав назву "мікротехнологія".

Мініатюризація різноманітних пристроїв вимагає в процесі їх виготовлення застосовувати досягнення різних галузей науки і техніки: фізики, хімії, матеріалознавства, інформатики, вакуумної техніки, гальванотехніки тощо.

Мікротехнологія включає процеси, які виконують у певній послідовності. Виготовлення мікропристроїв здійснюють чергуванням опе-

рацій нанесення тонких шарів і видалення окремих зон. При цьому одночасно виготовляють велику кількість пристроїв, як правило, розміщених на одній підкладці та які розділяють лише на фінальній стадії виробництва.



Мікроелектромеханічні системи (МЕМС)



Сонячні панелі

Риснок 2.3 – Області застосування процесів мікротехнологій

Процесами мікротехнології є: фотолітографія, підкладки, осадження, травлення, мікрооброблення локальною дією мікроінструмента, легування з використанням дифузії або іонної імплантації, планаризація (згладжування нерівностей методами механічного і хімічного полірування, наприклад, хіміко-механічна планаризація), очищення підкладок, мікроскладання виробів (монтаж кристалів на комутаційну плату чи у корпус, розпаювання виводів методами лазерного або ультразвукового зварювання, а також герметизацію).

Для здійснення мікротехнології здійснюють обов'язковий контроль температури і вологості, повітря очищають від зважених часток пилу. Також вживають заходи для зниження вібрацій і електромагнітних завад. Дим, пил, мікроорганізми і клітини живих організмів мають мікронні розміри, тому їх потрапляння на підкладку може привести до непрацездатності прилада, який виготовляється. Тому проводять також і активне очищення підкладок різними методами.

За допомогою мікротехнології виготовляють: паливні елементи, РК-дисплеї, головки струменевих принтерів, жорсткі диски, сонячні батареї, інтегральні схеми "мікрочіпи", мікроелектромеханічні системи (МЕМС), мікродатчики (рис. 2.4).



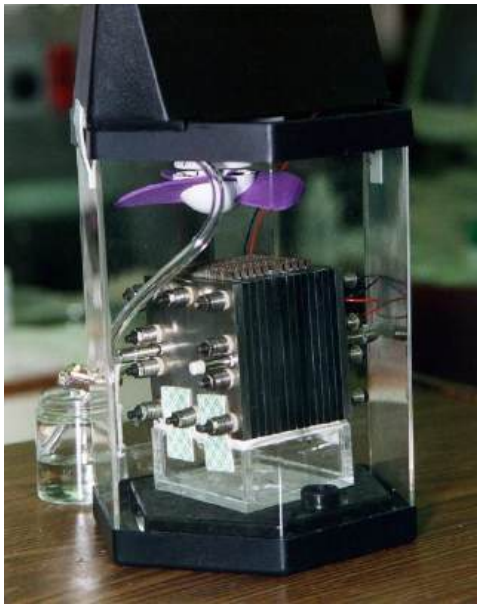
Мікродатчик



Принтер



Радіокристалічний дісплей



Метаноловий паливний елемент

Рисунок 2.4 – Продукція мікротехнологій

Паливний елемент – це електрохімічний генератор, який забезпечує пряме перетворення хімічної енергії на електричну. На відміну від традиційних електричних акумуляторів, де відбуваються аналогічні перетворення, паливні елементи мають дві важливі особливості:

- паливні елементи функціонують доти, доки паливо (відновник) та окислювач надходять із зовнішнього джерела;
- хімічний склад електроліту в процесі роботи не змінюється, тобто паливний елемент не треба перезаряджати.

Мікроелектроніка – галузь сучасної промисловості, виробництво кремнієвих кристалів інтегральних мікросхем [78]. *Мікроелектроніка* – це непорушний фундамент не тільки всієї сучасної індустрії інформа-

ційних і комп'ютерних технологій, але й багатьох суміжних галузей – побутової електроніки, індустрії розваг (включаючи музику і відео), медицини, військової і автомобільної промисловості тощо (рис. 2.5).

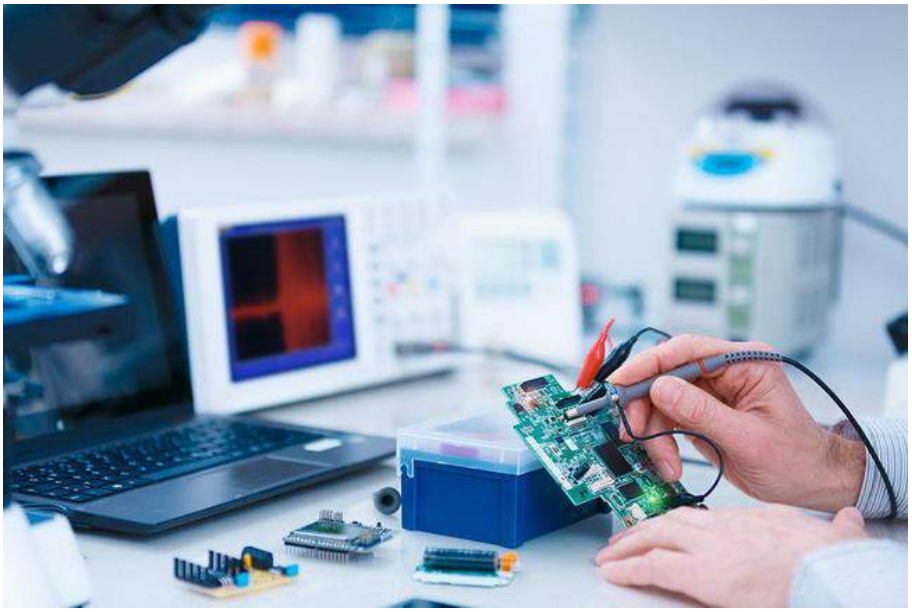


Рисунок 2.5 – Мікроелектроніка

Мікроелектроніка, за суттю, це розділ електроніки, що пов'язаний із розробленням електронних схем, які займають мінімальні фізичні об'єми. Одночасно із цим мікроелектроніка дозволяє зменшити вартість, підвищити економічність та надійність електронної апаратури, покращити її технічні показники. Елементну базу сучасної мікроелектроніки складають інтегральні мікросхеми (ІМС). За принципом роботи ІМС аналогічні схемам на дискретних елементах і відрізняються від них тільки умовами виробництва і габаритними розмірами.

Розвиток мікроелектроніки тісно пов'язаний із електронною обчислювальною технікою. Електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), які з'явились в кінці 40-х років XX століття продемонстрували, із однієї сторони, свої великі можливості, а з другої – недосконалість елементної бази, що існувала на той час. Перші ЕОМ, що працювали на лампах, мали великі габарити і масу, низьку швидкодію, вимагали значних матеріальних затрат при їх виробництві і експлуатації. Окрім цього, лампова техніка не могла служити базою для подальшого вдосконалення ЕОМ, оскільки це призводило до погіршення надійності. Середній термін служби електронної лампи знаходиться в межах 1000 годин,

отже, електронний пристрій, який вміщує 2000 ламп, повинен виходити з ладу через кожні 30 хв. Крім цього, такі електронні схеми збиралися методом навісного монтажу при якому для встановлення ламп використовувалися спеціальні лампові панелі, а для інших елементів – колодки із монтажними контактами. З'єднання між елементами здійснювали за допомогою пайки ізольованих провідників, зібраних в жгути.

Після винаходу транзистора (1948 р.) розпочато випуск ЕОМ на дискретних напівпровідникових приладах (НПП). Оскільки ці прилади мали термін служби не менше 10000 годин і менші габарити, то їх застосування дозволило значно розширити можливості та покращити технічні характеристики ЕОМ. Але виявилось, що для електронних пристроїв на НПП також існує межа, починаючи з якої різко падає надійність їх роботи. Це пояснюється не відмовою НПП, а порушенням цілісності монтажних з'єднань. Тому розпочато застосування друкованого монтажу, що стало першим кроком до мініатюризації. При цьому всі елементи кріпляться на монтажній платі своїми зовнішніми виводами, які запаяні в отвори, а з'єднання робляться плівковими провідниками, які нанесені безпосередньо на поверхню плати. Основна перевага друкованого монтажу – відсутність установочних деталей, що дозволяє значно зменшити габаритні розміри схеми.

Наступним кроком в напрямку мініатюризації електронних схем стало застосування так званих друкованих модулів, які представляли собою електронну схему, що зібрана на окремій платі та з'єднується із основною платою за допомогою роз'єму.

Вдосконаленням в області виробництва дискретних схем стало винахід мікромодулів, в яких, на відміну від друкованих, що монтувалися в площині плати, застосовувався принцип об'ємного монтажу. Крім цього, мікромодулі мали герметичні корпуси та, замість роз'ємів, гнучкі зовнішні виводи і розглядалися як неподільні та такі, що не піддаються ремонту. Найдосконалішою вважалась конструкція етажеркового мікромодуля.

Подальшим розвитком мініатюризації стало виготовлення саме ІМС (1961 р.). В інтегральній схемотехніці збережено модульний принцип побудови електронних пристроїв. Будь-яка ІМС, як і мікромодуль – це функціонально завершена напівпровідникова схема, яка має окремий корпус і складається із активних (напівпровідникові прилади) та

пасивних (резистори, конденсатори, індуктивності) елементів. Крім цього – це виріб, який не піддається ремонту.

Основна відмінність між мікромодулями та ІМС полягає в тому, що мікромодулі збираються із куплених дискретних елементів, які виготовляються на спеціалізованих підприємствах, а при виготовленні ІМС монтаж елементів замінено технологічними операціями, за допомогою яких в об'ємі створюються активні та пасивні елементи, а також з'єднання між ними. У цьому випадку розміри елементів ІМС визначаються тільки розмірами робочої структури. В результаті досягається великий виграш в густині монтажу.

На сучасному етапі мікроелектроніка розвивається в двох основних напрямах: інтегральному, за яким кожний елемент схеми мікроелектроніки створюється як дискретний елемент в напівпровідниковому кристалі, та функціональному, за яким робота схеми відбувається завдяки використанню фізичних явищ в твердому тілі. Найперспективнішою є функціональна мікроелектроніка, до якої відносяться: оптоелектроніка, магнетоелектроніка, акустоелектроніка. хемотроніка, кріоелектроніка, діелектрична електроніка, біоелектроніка.

Оптоелектроніка охоплює два незалежних напрями: оптичний та електронно-оптичний. *Оптичний* напрям (або лазерний) базується на ефектах взаємодії твердого тіла із електромагнітним випромінюванням. *Електронно-оптичний* напрям використовує прилади (оптрони), в яких під час обробки інформації відбувається перетворення електричних сигналів в оптичні та навпаки.

Магнетоелектроніка пов'язана із використанням тонких магнітних плівок, на яких можуть виконуватись елементи пам'яті ЕОМ, логічні мікросхеми, магнітні підсилювачі та інші прилади. Вдалось сумістити технологію виготовлення тонкоплівкових елементів (наприклад, сплав нікелю і заліза) із виробництвом інших елементів інтегральних мікросхем.

Акустоелектроніка займається перетворенням акустичних сигналів в електричні та навпаки. Ця галузь мікроелектроніки використовує процеси та явища, що пов’язані із проходженням струму в рідких тілах із іонною провідністю. До таких приладів належать керовані опори, запам'ятовуючі пристрої, підсилювачі, діоди-випрямлячі.

Кріоелектроніка – наука щодо створення приладів на основі надпровідності у твердих тілах за низьких температур. До таких приладів

відносяться квантові, параметричні, підсилювальні, перемикаючі пристрої та лінії затримки.

Діелектрична електроніка використовує явища в двохшаровій плівковій структурі, яка складається із тонких плівок металу і діелектрика. Приконтактний шар діелектрика збагачується електронами, що емітуються із металу. Якщо прикласти до діелектрика різницю потенціалів, то через нього протікатиме струм, величина якого буде залежати від кількості електронів, що емітовані в діелектрик із металу. Це явище дозволило створити діоди і транзистори, які мають мікрометричні розміри, малоінерційні, мають низький рівень шумів, мало чутливі до зміни температури і радіації.

Біоелектроніка – один з напрямів біоніки, що розв'язує задачі електроніки на основі аналізу структури і життєдіяльності живих організмів. Ця галузь мікроелектроніки охоплює проблеми вивчення нервових клітин (нейроів і нейронних мереж), її досягнення використовують для подальшого вдосконалення електронно-обчислювальної техніки, техніки зв'язку, розроблення нових елементів та пристроїв автоматики і телемеханіки.

2.3. Соціальні технології

Соціальні технології – один із новітніх термінів у соціологічній науці. Це поняття відноситься до управління як суспільством, так і конкретними організаціями, будь-якими соціальними об'єктами. Соціальні технології на інших рівнях організації суспільства – в управлінні республіками, областями, містами, районами – пов'язано із розв'язанням проблем життя людей як жителів певної адміністративної одиниці. Якщо мова йде щодо конкретної організації, то мають на увазі послідовність рішення тих чи інших соціальних завдань: підвищення ефективності праці або кваліфікації працівників, удосконалення стимулювання праці, раціоналізація взаємин, корпоративна культура.

Соціальні технології виникли дуже давно. Так, люди довгі століття управляли громадськими справами, передавали накопичувані знання та інформацію від покоління до покоління. Водночас вони завжди користувалися технологіями, які здебільшого спеціально розробляли, були достатньо простими. Самі соціальні зв'язки не потребу-

вали технологізації: вони могли бути освоєні інтуїтивно, емпірично, експериментально. Суспільний розвиток був можливий на основі дотримання правил, приписів, традицій, культурних зразків, тобто традиційних процедур та операцій, які цілеспрямовано та свідомо не розробляли й нерідко належали до рутинних, однак ними керувалися у практичній діяльності.

Із розвитком людства соціальні зв'язки ускладнювалися, збільшувалася їхня кількість, багаторазово зростав динамізм суспільних процесів, що об'єктивно породило багато нових вимог до вдосконалення соціальних технологій. Крім того, продовжувала діяти загальносоціологічна закономірність: зростала роль суб'єктивного чинника у розвитку світової цивілізації, а це привело до корінних змін у теорії та практиці управління, до впровадження інноваційних методів соціального впливу, які забезпечують більш високу якість соціальних технологій.

Виходячи із цього, соціальні технології слід розглядати як сукупність методів, досліджень та інструментів, спрямованих на зміцнення соціальної організації, поліпшення умов життя людей, запобігання конфліктам. Соціальні технології формуються під впливом психологічних і соціологічних наук. Ці технології використовують у педагогіці, демографічній політиці, державній політиці та бізнесі [56].

За допомогою соціальних технологій (інформаційних, навчальних, впроваджувальних, політичних, управлінських) можна своєчасно вирішити соціальні конфлікти, зняти соціальну напругу, запобігти катастрофам, заблокувати ризиковані ситуації, прийняти оптимальні управлінські рішення і виконати їх.

У минулому соціальні технології були тотожні використанню людського розуму для впливу на соціальні процеси, наприклад, запровадження законів для регулювання держави. У сучасному світі із розвитком технології соціальна сфера стала однією з рушійних сил розвитку інтернет-послуг. Тому соціальні технології повинні розвиватися одночасно із технологічним прогресом та використовувати його для створення умов соціальної активності.

Саме соціальні мережі стали головним проявом розвитку соціальних технологій в інтернет-середовищі [21]. Новітні соціальні технології можуть бути як програмним забезпеченням, що є платформою для вільного спілкування людей, так і засобами комунікації із метою

прямого обміну інформацією. Прикладом сучасних соціальних технологій є відео-конференції (Zoom, Google Meet), соціальні мережі (Facebook, Instagram, Telegram), новітні технології доповненої реальності тощо.

Відеоконференції – це давно існуюча платформа для зустрічі людей у онлайн-форматі. Проте популярності в Україні вона набула тільки із світовою кризою COVID-19. Держава перейшла майже повністю на дистанційну роботу, зросли можливості інтернет-послуг. Відеоконференції стали застосовувати під час навчання, внаслідок впровадження дистанційного навчання. Багато працівників різних сфер теж перейшли на онлайн формат, і зросла популярність роботи із дому. Тому соціальні мережі зараз – невід'ємна частина нашого життя і головний засіб комунікації. Люди почали використовувати їх як бізнес-платформи, користуючись доступністю до взаємодії із іншими користувачами (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Інтернет і соціальні технології

Проте, соціальні технології є не лише проявом технологічного розвитку і використання інтернет-мереж для вирішення основних питань суспільства. Соціальні технології – це найважливіший елемент механізму керування. У бізнесі їх застовують для опису взаємодії людини у колективі. Це дозволяє забезпечити найефективнішу роботу працівників [21].

Справжню силу соціальних технологій почали розуміти лише із появою Інтернету, який став доступним для будь-кого, всі можуть діли-

тися своїми враженнями, інформацією, розвивати свою розумову активність, здобувати нові зв'язки. Проте, чим більше інтернет-середовище розвивається, тим більше нових ризиків соціальної небезпеки з'являється. Це – цензура користувачів, витоки конфеденційної інформації споживачів, а також нові виклики підроблення фактів штучними нейронними мережами. Тому завданням соціальних технологій є створення нових засад протидії новим соціальним небезпекам та розвинуту взаємодію суспільства.

Слід зазначити, що соціальні технології трактують із урахуванням двох поглядів: по-перше, як способи застосування теоретичних висновків тієї або іншої науки у вирішенні практичних завдань; по-друге, як сукупність прийомів, методів і дій, які застосовують для досягнення поставленої мети у процесі соціального розвитку, розв'язання тих або інших соціальних проблем.

Методологічні принципи соціальних технологій: принципи побудови соціальних технологій (принципи соціуму, технологій); принципи різних етапів життя соціальних технологій (принципи проектування, конструювання, перевірки і впровадження, функціонування). Орієнтація на реалізацію цих принципів забезпечує стабільність роботи соціолога, соціального працівника, соціальних служб та їхній авторитет.

Основні властивості соціальних технологій:

- *масштабність* показує просторові розміри технології, тобто її місце в соціальному просторі. У цьому аспекті соціальні технології (СТ) доцільно розподіляти на глобальні, макро- і мікротехнології;
- *новизна* характеризує ступінь інноваційності технології або її принципову новизну, яка визначається ступенем оновлення її елементів і структур. За цією властивістю СТ можна розподілити на інноваційні, модернізовані та ретро, або рутинні;
- *ефективність* показує співвідношення між результатами, досягнутими у процесі використання технології, і витратами на їхнє розроблення і впровадження. Усі технології за цією ознакою можна розподілити на високоефективні, ефективні, малоефективні й неефективні. Ефективність соціальних технологій пов'язують із термінами використання: вона тим вище, чим тривалиший термін її дії, порівняно із періодом розроблення в межах соціально й економічно виправданої довговічності;

- *наукомісткість* показує кількісні параметри вкладених у технологію наукових знань. Ця властивість дає можливість розподілити СТ на наукомісткі та ненаукомісткі;
- *складність* визначає зміст технологій і можливості управління ними. На підставі цього можна СТ розподілити на прості, складні та дуже складні;
- *час життя* визначає часовий період від появи технології до зняття її із "озброєння". Усі технології за цією ознакою розподіляють на довгострокові, середньострокові та короткострокові;
- *адаптивність* показує здатність технологій пристосовуватися та функціонувати в найнесприятливіших умовах. Усі СТ за цією властивістю розподіляють на високоадаптивні, адаптивні, поганоадаптивні та неадаптивні;
- *надійність* показує якісну результативність технології, її здатність до самозбереження та відтворювання. За цією ознакою технології розподіляють на надійні та ненадійні;
- *валідність* показує відповідність технології суспільній системі та меті, для реалізації якої вона призначена. СТ, відповідно до цієї властивості розглядають як валідні та невалідні.

Процес розроблення нових соціальних технологій відбувається у такій послідовності:

- фіксують суперечності в соціальному об'єкті, визначають значення і призначення соціальних технологій;
- на основі прогнозних розроблень визначають мету, досягнення якої дозволяє вирішити цю суперечність, і формують критерії її досягнення;
- вивчають і оцінюють актуальне середовище впровадження соціальної технології;
- визначають функції − властивості соціальної технології, що забезпечують досягнення мети в заданих умовах і задовольняють потреби і професіонала, і соціального середовища;
- вибирають або розробляють модальні або інтенсифікуючі характеристики, що визначають спосіб функціонування та розвитку соціальної технології;
- формують просторово-часову структуру (елементний склад технологічних процедур і відношення між ними);

- розробляють організаційний процес, що забезпечує формування конструкції та динаміку соціальної технології відповідно до необхідних функціональних параметрів.

У підсумку можна зазначити, що *соціальна технологія* – це певний спосіб досягнення цілей, що складаються із післяопераційного здійснення діяльності; операції розробляють заздалегідь, свідомо та планомірно; їхнє розроблення здійснюють на основі та із використанням наукових знань; ураховують специфіку сфери суспільного життя, у якій здійснюють діяльність; соціальна технологія наявна у двох формах: як прокет, що містить процедури та операції, і як організаційна діяльність, побудована, відповідно до цього проекту.

2.4. Робототехніка

Робототехніка – це галузь, де замість людини дії виконують роботи [148, 159].

Робототехніка – прикладна наука, що опікується проектуванням, розробленням, виготовленням і використанням роботів, а також комп'ютерних систем для керування ними, сенсорного зворотного зв'язку і обробки інформації автоматизованих технічних систем (роботів).

Робототехніка поєднує в собі елементи механіки, електротехніки, комп'ютерних наук та інших галузей для створення автономних систем, здатних виконувати різноманітні завдання [26, 40, 53].

Робототехніка спрямована на створення роботів і робототехнічних систем, призначених для автоматизації складних технологічних процесів і операцій, зокрема таких, що виконуються в недетермінованих умовах, для заміни людини під час виконання важких, утомливих і небезпечних робіт. Роботи використовуються як кур'єри в лікарнях, можуть служити офіціантами і кухарами, можуть очищувати забруднені території від токсичних відходів або продуктів ядерних установок, очищувати приміщення та доглядати за людьми похилого віку, виконують дії з малоінвазивної хірургії.

Роботи можуть мати будь-яку форму, але деякі з них, зроблено схожими на людей за зовнішнім виглядом. Стверджується, що це допомагає у сприйнятті робота з певною реплікативною поведінкою, переважно, притаманною людям. Такі роботи намагаються повторити

ходьбу, підйом, мову, в основному, все що може зробити людина. Багато із сучасних роботів, натхненні природою.

Мета робототехніки – виробляти програмування задля контрольованої співпраці електроніки і механіки роботів.

Робототехніка буває будівельною, промисловою, побутовою, авіаційною, екстремальною (військовою, космічною, підводною).

Історія розвитку робототехніки сягає своїм корінням в далеку давнину за часів античності. Бажаючи полегшити трудову діяльність і просто гнані науковою ідеєю, винахідники давнини створювали найпростіші механізми, що виконували деякі елементи руху.

Перші креслення, що збереглися, належали Да Вінчі, який створив робота-лицаря, що рухався. Двадцяте століття було ознаменоване становленням сучасної робототехніки, появою роботів, здатних виконувати записану послідовність команд. Пізніше в 1942 році Айзеком Азімовим – відомим письменником і популяризатором науки – в його книзі були сформульовані три закони робототехніки, які свідчать, що робот не повинен завдавати людині шкоди, зобов'язаний виконувати його команди та при цьому піклуватися про власну безпеку.

Термін "роботехніка" також запровадив письменник-фантаст Айзек Азімов у 1942 році. Слово "робототехніка" походить від слова "робот", яке було представлено у 1920 році публіці чеським письменником Карелом Чапеком у його п'єсі R.U.R. (Россумські Універсальні Роботи). Слово "робот" походить від слов'янського слова "Robota", що означає праця. Дійство починається на фабриці, яка виготовляє штучних людей, так званих роботів – істот, яких можна було помилково прийняти за людей – що дуже схоже на сучасні ідеї андроїдів. Сам Карел Чапек слово "робот" не вигадав – це зробив його брат Йозеф Чапек.

Із розвитком науки і техніки та завдяки підтримки інновацій робототехніка перетворилася у самостійну наукову сферу. Головною властивістю будь-якого механізму і робота є його корисність. Залежно від корисності машини в тій чи іншій сфері життя виділяють такі різновиди роботів: медичні, бойові, побутові, промислові та будівельні, дослідні, ігрові тощо. Також роботи можна розділити на керовані та автономні; мобільні та стаціонарні.

У сучасній медицині роботи випускаються серійно, і без багатьох із них складні діагностичні процедури були б неможливі (рис. 2.7). Так,

у 1985 році робот Unimation Puma 200 допомагав у взятті біопсії мозку в пацієнта, що стало значним проривом робототехніки у медицині. Через 7 років робот ProBot зробив вперше в світі самостійно операцію.



Рисунок 2.7 – Сучасна медицина

Розроблення першого побутового робота було здійснено компанією Sony, і в пам'яті багатьох людей залишився саме цей вид робота як вершини технічного розвитку. Його звали AIBO і виглядав він як собака (рис. 2.8).

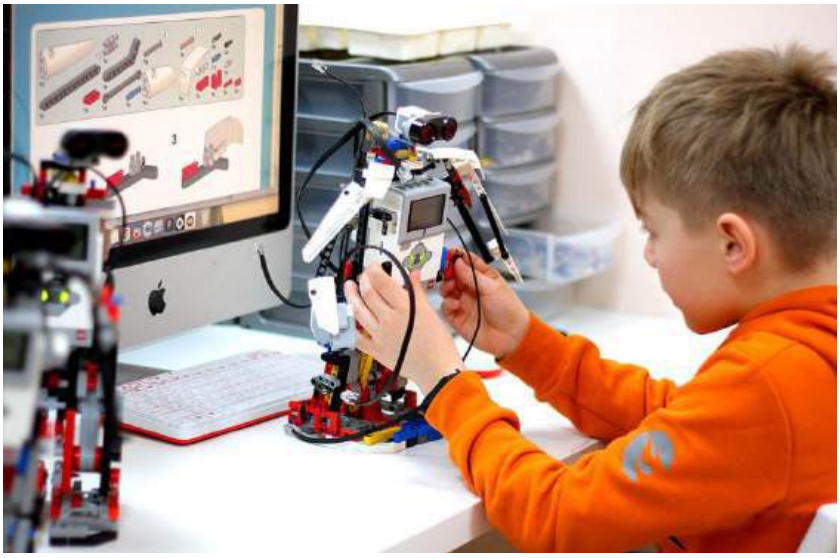


Рисунок 2.8 – Собака-робот AIBO

Для забезпечення безпеки та охорони громадського порядку всюди застосовуються роботи в сучасному світі. Так, поліція й охоронні організації широко застосовують для цих цілей безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Зараз робототехніка стала дуже популярною і актуальною технологією в світі, оскільки вона дозволяє полегшити роботу в багатьох галузях, зменшити витрати на виробництво та покращити якість продук-

ції. Робототехніка розвивається із вражаючою швидкістю та має велике практичне значення в різних аспектах сучасного життя (рис. 2.9).



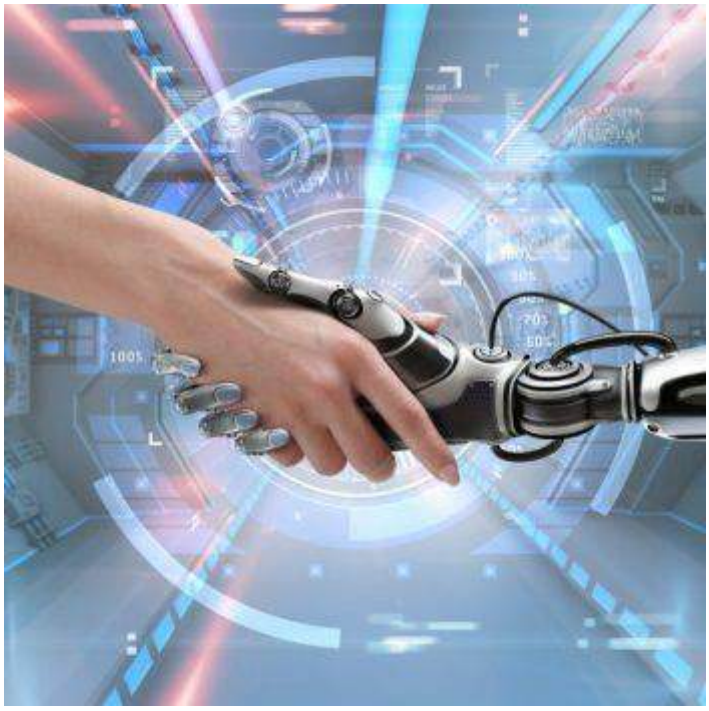


Рисунок 2.9 – Робототехніка у сучасному житті

Сьогодні робототехніка визнана ключовою галуззю в сучасному виробництві. Автоматизовані робочі лінії і роботи дозволяють підвищити продуктивність і покращити якість виробництва. Роботи здатні виконувати рутинні завдання без втоми і відхиляти відстані. Металообробна промисловість – один із лідерів за кількістю встановлених роботів.

Але до найбільш роботизованих галузей належать автомобілебудування, виробництво електроніки та продуктів харчування.

В автомобільній промисловості роботи виконують завдання, такі як зварювання, фарбування, нанесення покриттів та складання автомобілів із точністю, недосяжною для людини. Також вони незамінні у буровій і гірській справі, під час монтажу вогнетривів у металургії, у легкій промисловості. Це дозволяє підвищити продуктивність, зменшити витрати і підвищити якість автомобілів.

Слід зазначити, що в наш час робототехніка займає значну частину життя кожної людини. Однак, не кожен навіть може здогадатися, що речі, які оточують його, зроблені роботами, а не людиною. При цьому існують роботи, які виконують роботу та роботи, які контролюють виконання цієї роботи. Існують різні види роботів. Вони можуть бути рухливими та виконувати якусь механічну роботу, а також нерухомими – для того, щоб оцінювати та контролювати якість. Існують також і віртуальні роботи – це штучний інтелект.

Робот – це програмований механічній пристрій, здатний виконувати завдання та взаємодіяти з зовнішнім середовищем без допомоги із боку людини, а *робототехніка* – наукова і технічна база для проектування, виробництва та застосування роботів (рис. 2.10).

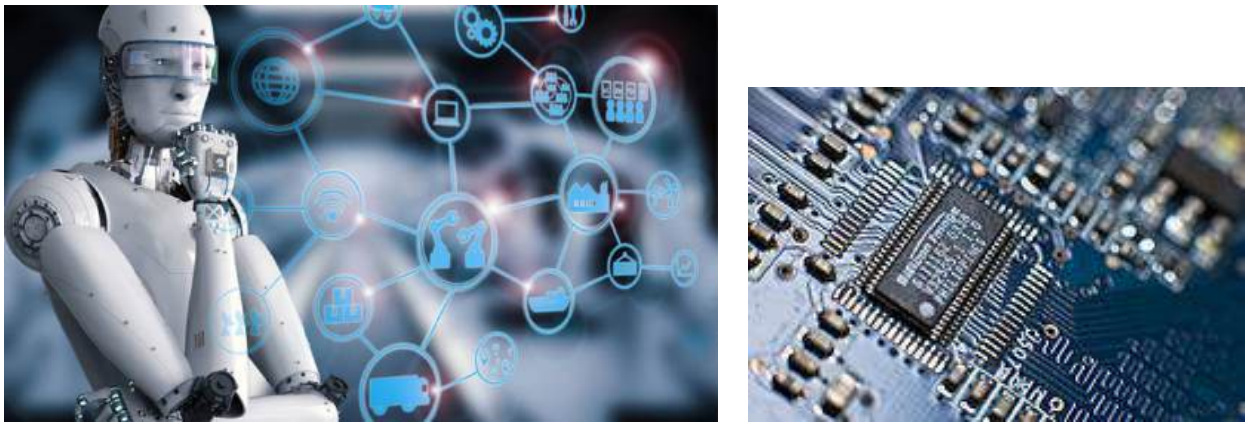


Рисунок 2.10 – Робот і комп'ютерна плата

До компонентів робота належать: тіло/рама (рис. 2.11), система управління, маніпулятори та його ходова частина.

Тіло, або рама, робота може мати будь-яку форму й розмір, і вона забезпечує конструкцію робота.

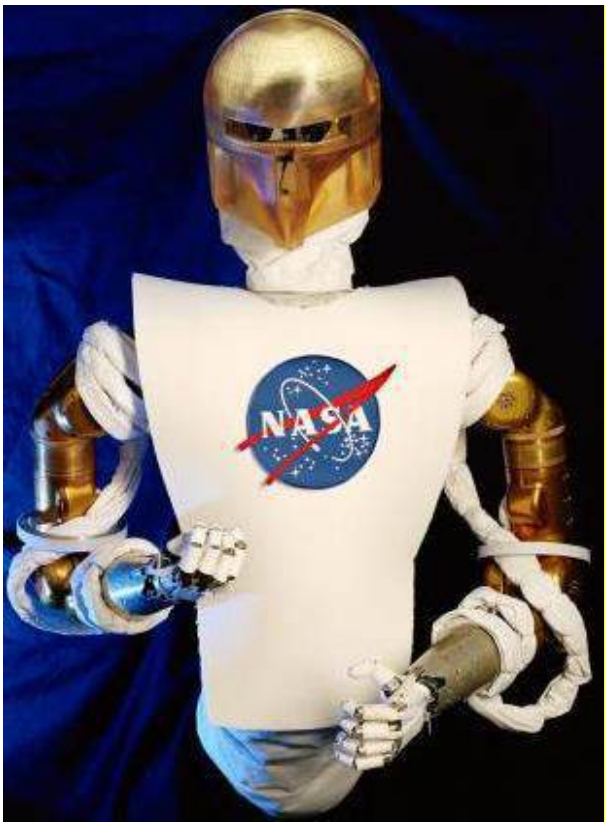


Рисунок 2.11 – Тіло/рама робота

Система управління робота є еквівалентом центральної нервової системи людини. Вона призначена для координування управління всіма елементами робота. Датчики реагують на взаємодію робота із зовнішнім середовищем. Відповіді датчиків відправляються в центральний процесор (ЦП), в якому обробляються дані за допомогою програмного забезпечення й приймається рішення на базі логіки. Те ж саме відбувається при введенні користувальницької команди.

Маніпулятори. Для виконання завдання більшість роботів взаємодіє із зовнішнім середовищем, а також навколишнім світом. Іноді потрібно переміщення об'єктів зовнішнього середовища без безпосередньої участі з боку операторів. Маніпулятори не є елементом базової конструкції робота, як його тіло/рама або система управління, тобто робот може працювати й без маніпулятора.

Ходова частина. Хоча деякі роботи можуть виконувати поставлені завдання, не змінюючи своє місце розташування, найчастіше від роботів потрібна здатність переміщатися з одного місця в інше. Для цього необхідна ходова частина, тобто привід – засіб переміщення. Роботи-гуманоїди оснащені ногами, тоді як ходова частина практично всіх ін-

ших роботів реалізована за допомогою коліс або іншими засобами (рис. 2.12).

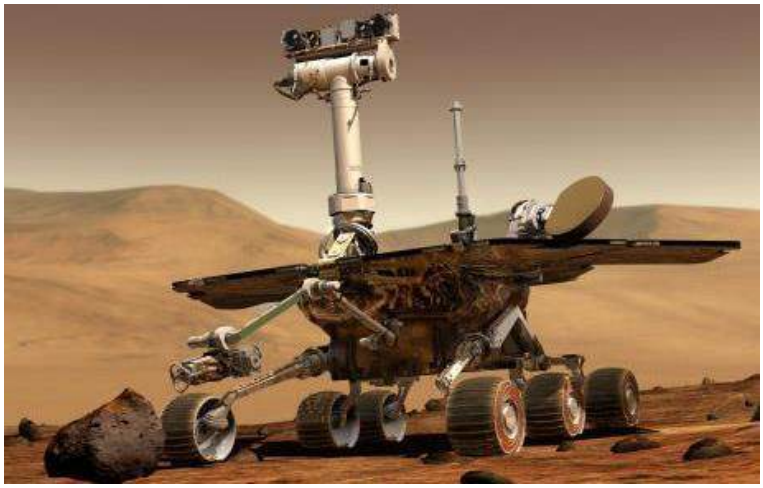


Рисунок 2.12 – Робот-дослідник

За областю застосування роботів розподіляють на три основні категорії: промислові роботи, дослідницькі роботи, освітні роботи.

Промислові роботи. Роботи (роборуки) з'явилися на виробництві ще у 1959 році. Роботи в багатьох галузях промисловості найчастіше виконують роботу, яка вважається небезпечною для людини. Роботи довели свою ефективність у роботах, які дуже повторюються, що може призвести до помилок або нещасних випадків через втрату концентрації та інших робочих місць, які люди можуть вважати такою, що принижує гідність (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Промислові роботи

У 2014 році Китай, Японія, США, Республика Корея та Німеччина об'єднали 70 % загального обсягу продажів роботів. У автомобільній промисловості, сектором із особливо високим ступенем автоматизації, у Японії найвища густина промислових роботів у світі: 1414 на 10 000 співробітників. На сьогодні найбільш швидкозростаючим ринком робототехніки у світі є Азія. У гонитві патентів на винаходи для роботів багато років лідирує Китай – на нього припадає 35% поданих заявок, що майже вдвічі перевищує показники Японії. Кожен 3-тій робот продається у Китаї (рис. 2.14).

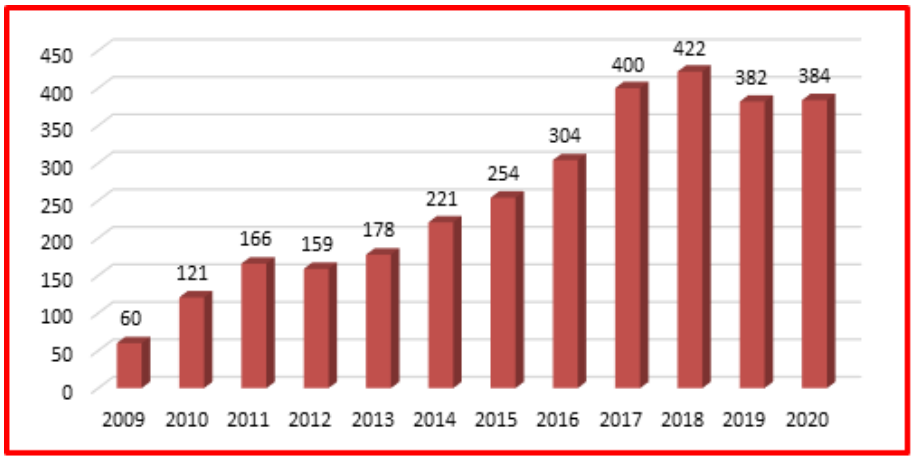


Рисунок 2.14 – Обсяги продажів промислових роботів у світі (у тисячах одиниць)

Український стартап Esper Bionics розробив біонічний протез руки на основі технологій artificial intelligence – Esper Hand. Він робить все те, що робить справжня рука, а людина може займатися спортом та побутовими справами, працювати за комп'ютером, користуватися телефоном тощо.

У промисловості для виконання величезної кількості робіт необхідні висока швидкість і точність. Протягом багатьох років за виконання подібних робіт відповідали люди. Використання роботів дозволило прискорити і підвищити точність багатьох виробничих процесів: пакування, складання, фарбування, укладання на піддони тощо. Спочатку роботи виконували тільки особливі види повторюваних робіт, де вимагалося дотримання простого заданого набору правил. Із розвитком технологій промислові роботи стали набагато більш рухливі, й тепер вони здатні приймати рішення на основі складної відповіді від датчиків.

Їх широко застосовують для автоматизації процесу виробництва. Вони виконують рутинні роботи, такі як складання деталей, зварювання та монтаж, що дозволяє зменшити витрати на заробітну плату працівників та збільшити продуктивність виробництва. Роботи можуть допомагати складати автомобілі, а також перевіряти якість складання готових автомобілів або компонентів до них.

У майбутньому робототехніка може призвести до створення роботів, які можуть працювати без участі людини. Це може забезпечити більш ефективне та економічне виробництво та покращити якість продукції. Також у майбутньому робототехніка може призвести до створення роботів, які можуть вчитися і приймати рішення на основі отриманої інформації. Це може забезпечити більш точне та ефективне виконання завдань.

У даний час промислові роботи, як правило, оснащено системами технічного зору (рис. 2.15, рис. 2.16).

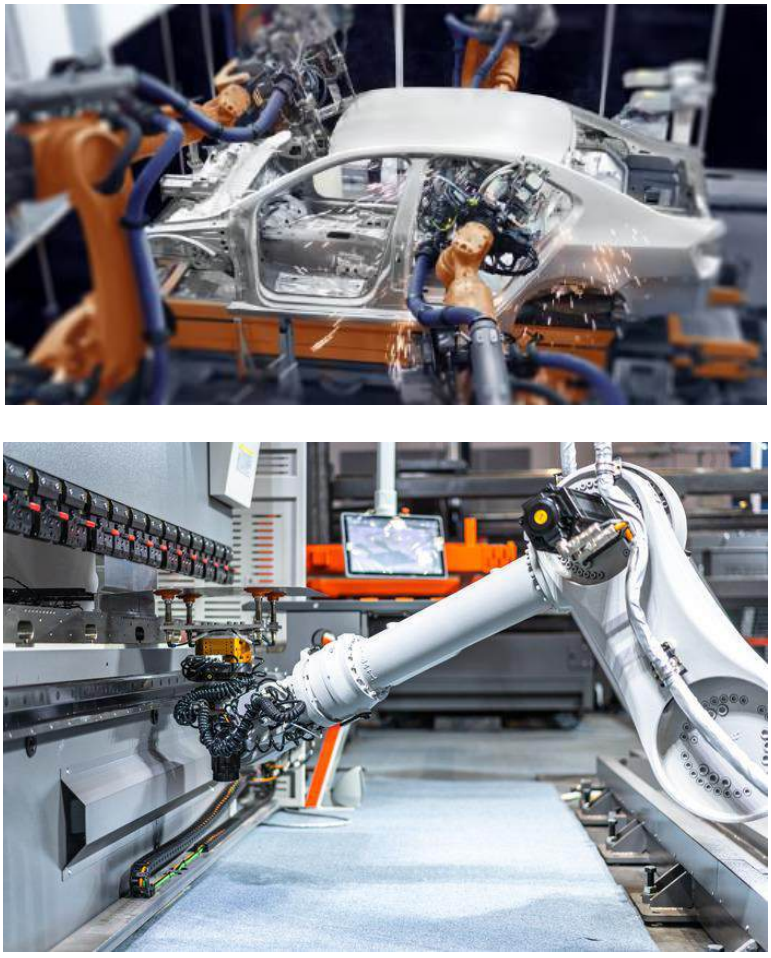


Рисунок 2.15 – Роботи на виробництві



Рисунок 2.16 – Роботизоване робоче місце

Як зазначено раніше, роботів можна використовувати для виконання складних, небезпечних завдань, а також завдань, які людина виконати не в змозі. Так, роботи здатні знешкоджувати бомби, обслуговувати ядерні реактори, досліджувати глибини океану й досягати найвіддаленіших куточків космосу. Роботи також можуть використовуватись під час гасіння пожеж, доставці вантажів, перехопленні БПЛА порушників тощо.

Дослідницькі роботи. Роботи мають широке застосування в світі досліджень, оскільки їх часто використовують для виконання завдань, у вирішенні яких людина безпорадна. Робототехніка має важливе значення для досліджень та вивчення невідомих та важкодоступних областей. Найбільш небезпечні й складні середовища знаходяться під поверхнею Землі.

Роботи можуть використовуватися в космічних місіях для дослідження планет та космічних тіл, де немає можливості вислати людину. Так, для вивчення космічного простору й планет сонячної системи використовуються космічні апарати, посадочні модулі й всюдиходи із функціями роботів. Роботи здатні працювати в умовах високої радіації, вакууму та низьких температур. Роботи можуть виконувати завдання, такі як взяття проб, вимірювання та дослідження зразків, що робить можливими важливі наукові відкриття.

У галузі дослідження океанів робототехніка також використовується для дослідження морських глибин і навколишнього середовища. Роботи можуть опускатися на значні глибини, де вони здатні вивчати морське дно, відстежувати рухи морських істот та збирати дані про морську геологію. Це допомагає науковцям краще розуміти природу та робити висновки про вплив людської діяльності на океан.

Роботи в освіті. Важливою галуззю застосування робототехніки є освіта з метою забезпечення ефективного та цікавого навчання. Роботів використовують для навчання учнів та студентів основам програмування, інженерії та наукового методу. Особливо, для вивчення наукових дисциплін, які потребують практичної роботи, таких як фізика та хімія. Роботи створюють можливість для студентів вивчати технічні та наукові концепції через практичні демонстрації і експерименти. Це розвиває інтерес до науки та технології серед молодого покоління і підготовлює їх до майбутніх викликів у цих галузях (рис. 2.17).

Робототехніка стала захоплюючим і доступним інструментом навчання та підтримки концепції – STEM (це об'єднання природничих наук, технології, інженерії та математики), проектування й підходів до вирішення завдань. В робототехніці учні отримують можливість реалізувати себе в ролі проектувальників, артистів і техніків одночасно, використовуючи власні руки і голову. Це відкриває величезні можливості застосування наукових і математичних основ.

У сучасній системі освіти, із урахуванням фінансових обмежень, середні та вищі навчальні заклади знаходяться в постійному пошуку економічно вигідних шляхів викладання учням складних програм для їх підготовки до професійної діяльності (поєднують технології з безліччю дисциплін). Викладачі відразу побачали переваги робототехніки й даного навчального курсу, оскільки в них реалізовано міжпредметні методи поєднання різних дисциплін. Крім того, робототехніка пропонує найбільш доступне й відповідне для повторного використання обладнання.

Зараз школи застосовують робототехнічні програми в класі для "пожвавлення" навчальних курсів і забезпечення відповідності широкому спектру академічних стандартів, необхідних для учнів. Робототехніка не тільки є унікальною й широкою базою для викладання різноманітних технічних дисциплін, але також областю техніки, що значно впливає на розвиток сучасного суспільства.

Робототехніка унікально поєднує основи дисциплін STEM. У процесі навчання студенти вивчають різні дисципліни та їх взаємозв'язки, використовуючи сучасні технологічні інструменти, візуальне подання проектів, яке вимагається від учнів і студентів, стимулює їх до експериментів і прояви винахідливості в процесі пошуку естетичних і працездатних рішень.



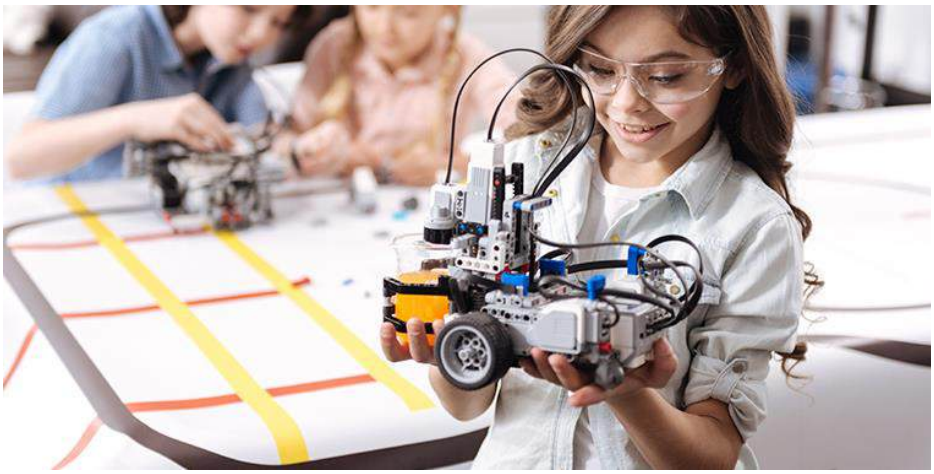




Рисунок 2.17 – Роботи в освіті

Однією з важливих областей застосування робототехніки є також медицина (рис. 2.18). Роботів використовують для проведення операцій, діагностики та лікування хворих. Вони є корисними в реабілітації. Хірургічні роботи дозволяють лікарям виконувати точні та складні операції з мінімальними травмами для пацієнтів. Роботи мають високу точність і здатність виконувати рухи, які не досяжні для людських рук. Це полегшує хірургічні процедури, дозволяє скоротити тривалість операції та зменшити ризик помилок і покращити результати лікування. Роботи можуть бути використані для телемедицини, де лікарі можуть консультувати та надавати медичну допомогу пацієнтам на відстані.



Рисунок 2.18 – Робототехніка в медицині

Робототехніку також використовують в транспорті для безпечного та ефективного перевезення пасажирів та вантажів (рис. 2.19).



Рисунок 2.19 – Робототехніка на транспорті

Роботи можуть виконувати рутинні роботи, такі як водіння автомобілів та літаків, що дозволяє зменшити ризик аварій, покращити безпеку на дорозі та зменшити кількість дорожніх пригод. Вони використовують технології штучного інтелекту для розпізнавання дорожніх знаків, інших транспортних засобів і пішоходів, що дозволяє їм уникати аварій і надійно долати шляхи.

Широке застосування робототехніка отримала також у галузях:

Логістика: роботи в складах використовують для сортування і переміщення товарів. Це пришвидшує доставку і зменшує кількість помилок, які могли б зробити люди. Дрони використовують для доставки товарів.

Виробництво електроніки: роботи монтують і тестують мікрочіпи та інші електронні компоненти.

Сільське господарство: роботи в аграрному секторі застосовують для виконання різних видів технологій і поліпшення процесів сільського господарства і сільськогосподарського виробництва. Роботи працюють як в приміщеннях, так і надворі. У першу чергу, це роботи, які сіють, прополюють і збирають урожай. Так, автоматизовані трактори і роботи використовують для збору урожаю та обробки поля. Однак сьогодні вони здатні стежити за цілими гектарами урожаю, турбуючись щодо кожної рослинки окремо. Такі роботи можуть допомогти підвищити врожайність, знизити витрати і поліпшити управління сільським господарством.

Енергетика: роботів використовують для обслуговування електростанцій, а також для інспекції і ремонту важкодоступних місць, таких як вітрові турбіни. Роботів застосовують для інспекції вітряків, очищення сонячних панелей та інших поверхонь, а також у загальному огляді енергетичних об’єктів.

Обслуговування клієнтів: роботів використовують в готелях і ресторанах для обслуговування гостей, а також у віртуальних асистентах для обробки запитів клієнтів.

Автономний транспорт: роботизовані автомобілі використовують для розроблення і тестування автономних автівок, що можуть пересуватися без водія.

Фінанси: у банківській сфері роботи допомагають налагоджувати контакт із клієнтом, особливо у випадках обмеженої кількості персоналу.

Побутове використання: застосовують роботи-пилососи, які автоматично прибирають підлогу, та роботи для приготування їжі.

Військова справа: застосовують роботи для рятування життів, розвідки, оборони і багатьох інших військових завдань.

Подальший розвиток робототехніки обіцяє ще більше можливостей і впливу на наше суспільство. Завдяки використанню штучного інтелекту і нейромереж, роботи стають все більш інтелігентними і здатними виконувати завдання, які раніше вважалися можливими лише для людей. Із зростанням обчислювальної потужності та доступністю даних, роботи стають навіть більш продуктивними і корисними для суспільства. Однак, разом із потужними можливостями приходять і виклики щодо етики та безпеки використання робототехніки. Зокрема, необ-хідно розглядати питання щодо впливу роботів на робочу силу, приватність і безпеку. Крім того, роботи можуть створювати нові етичні ділеми, такі як відповідальність за їхні дії та вирішення суперечливих ситуацій.

Усе враховуючи, робототехніка має надзвичайно важливе практичне значення для сучасного суспільства. Вона впливає на виробництво, медицину, транспорт, науку та освіту, розвивається і надає нові можливості для досліджень і навчання. Продовження розвитку робототехніки вимагатиме вирішення нових етичних і соціальних питань, але це також відкриває шлях до нових досягнень та інновацій. Роботи та автономні системи стають необхідною частиною нашого сучасного життя та обіцяють змінити світ на краще, надаючи можливість людям досягти більших вершин у різних галузях.

Отже, *сучасні роботи* – це високотехнологічні пристрої, що виконують виробничі, транспортні, сервісні і навчальні функції. Вони здатні замінити людину у багатьох галузях і працювати у високопродуктивному та інтенсивному режимі; забезпечують високу точність виконуваних операцій; можуть імітувати біокінетику тіла людини та тварин і допомагають повернути мобільність людям із обмеженими фізичними можливостями; ефективно виконують свою функцію у складних умовах експлуатації, наприклад, за наявності радіації та впливу високих температур. Виробничі маніпулятори, роботи-безпілотники, інтерактивні іграшки, роботи-хірурги, побутові андроїди, роботи-собаки, дрони, роботи-укладачі цегли та інше – це вже наша реальність. Їм не дивуються навіть діти, а дорослі все активніше використовують їх у різних цілях.

Завдяки поєднанню механіки, електроніки та інтелектуального програмного забезпечення, робототехніка надає нам можливість долати складні виклики та досягати нових висот. Її розвиток є ключовим для четвертої промислової революції та індустрії 4.0. Таким чином, робототехніка є дуже важливою технологією для розвитку багатьох галузей. Вона дозволяє зменшити витрати, підвищити продуктивність праці та покращити якість продукції. У майбутньому робототехніка може привести до створення роботів, які можуть працювати без участі людини, вчитися та приймати рішення та стати компаньйонами людей. Робототехніка відкриває нові можливості для створення інтелектуальних та автономних систем, які сприятимуть подальшому розвитку суспільства та підвищенню якості життя.

Однак, за словами найбільшого вченого-робототехніка Родні Брукса, робототехніка ще перебуває на початковій фазі розвитку. І щоб перевести її на якісно новий рівень, необхідно, щоб роботи, як мінімум, набули відмінних навичок розпізнавання мови і жестів людини, дрібної моторики, синтезу та аналізу зовнішнього середовища і соціального спілкування. Відповідно, розвиток робототехніки безпосередньо залежить від розвитку суміжних галузей, адже тільки так можна розширити виконувані завдання і покращити якісні характеристики обладнання.

Це відноситься до доступних матеріалів та ресурсів. Саме це один із найбільш значущих чинників для розвитку цієї індустрії, оскільки ресурси нашої планети обмежені, а для створення інноваційної електроніки, потужних акумуляторів потрібні дефіцитні компоненти. Тому майбутнє галузі визначається сучасними розробками інноваційних матеріалів. І хоча сьогодні широко використовують високоміцні сталі, титанові та алюмінієві сплави, вуглеводневі волокна, кожен виробник, як правило, намагається впроваджувати у виробництво власні розробки.

Загалом наука разом із промисловістю зараз зосереджені на розробленні та виробництві наступних матеріалів для робототехнічної сфери: аустенітні алюмоутворювальні сталі AFA-SS, що мають високу корозійну стійкість і здатні витримувати екстремально високі температури; лита нержавіюча сталь CF8C-Plus, що характеризується покращеними властивостями високотемпературного розтягування і високим опором втомі; надміцні полімерні мембрани і нанокомпозити на основі полікристалічного алмазу; нанопокриття із підвищеною ерозійною

стійкістю та покриття зі склоподібних ультрадисперсних частинок на основі заліза; мастильні матеріали із добавленням твердих змащувальних компонентів, а також наночастинок; графен та інші високоміцні матеріали на основі вуглецю, які можна використовувати для інтелектуальних композитів, транзисторів та інших елементів електроніки та електроприводів; мононітрид галію, який виступає напів-провідниковим матеріалом нового покоління.

Важливим є використання 3D – друку композитними матеріалами і нові технології виробництва високоміцних молекулярних полімерів, які сприяють зниженню вартості промислових і сервісних роботів та роблять їх більш доступними. Однак, такі технології застосовні в більшості випадків лише для малонавантажених моделей. Роботизоване обладнання та його силові елементи, призначені для інтенсивної експлуатації і роботи із високими питомими і ваговими навантаженнями, створюються на основі високоміцних сталей і сплавів, здатних забезпечити належну потужність, міцність і працездатність маніпуляторів.

Важливе значення у розвитку робототехніки займає машинне навчання, що вивчає проблеми аналізу, обробки та подання даних у цифровому вигляді. Оскільки ця сфера розвивається семимильними кроками, отримали поширення терміни "слабкий штучний інтелект" і "сильний штучний інтелект". Під першим терміном розуміються системи, що навчаються і здатні вирішувати окремі завдання, під другим терміном – розумні системи, під силу яким інтелектуальне мислення і вистроювання причинно-наслідкових зв'язків на основі обробки різних даних. Таким чином, машинне навчання надає можливість зробити із робота аналітика, здатного на основі закономірностей побудувати прогноз для заданої величини або проаналізувати і скоригувати ефективність застосовуваної методики лікування, розподілу логістичних потоків, завантаженості виробничих ліній, виявити помилки в технології тощо. Наприклад, завдяки об'єднаній цифровій мережі та штучному інтелекту (Intellingrence), здатному до самонавчання, нові роботи: зможуть ефективно комунікувати між собою та з людьми; набудуть здатності усвідомлено говорити багатьма мовами світу і розпізнавати емоційний настрій людей; навчаться візуально і мануально розпізнавати та ідентифікувати живі та неживі об'єкти; отримають навички у навігації, що значно розширить їхні технологічні можливості.

Зараз роботизовані пристрої мають автономне, кабельне і комбіноване живлення. Але щоб забезпечити їм покращену мобільність, вчені та інженери прагнуть розробити компактні та потужні акумулятори, здатні забезпечити надійне живлення протягом тривалого часу та з мінімальним періодом підзарядки. Вже сьогодні створено низьковольтні джерела живлення, що керуються дистанційно та мають кілька режимів роботи і розширений діапазон вихідних параметрів. Спостерігається поява дронів, андроїдів і маніпуляторів, здатних на автономному живленні працювати без підзарядки протягом кількох годин та із урахуванням конкретного ситуативного сценарію. Промислові маніпулятори стають мобільнішими і компактнішими, а побутові роботи – більш схожими на анатомічні форми людини (рис. 2.20).



Рисунок 2.20 – Побутовий робот

Використання хмарних технологій дозволить роботизованим пристроям набагато швидше обробляти інформацію, підвищить їх продуктивність і покращить інтелектуальні здібності. Вони зможуть підключатися до систем розумного будинку, відстежувати безпеку периметра тощо.

Створення роботів – це кропіткий і високотехнологічний процес. Необхідно чітко вистроїти алгоритм роботи маніпулятора, розрахувати процеси навантаження за кількома осями і забезпечити тривалу безаварійну роботу. Все це можливе тільки за умов використання матеріалів і комплектуючих відповідної якості та тих, що володіють заданими механічними, хімічними і технологічними властивостями. На те, як виглядатиме робот майбутнього, впливають не лише виробничі та економічні чинники. Їх зовнішній вигляд і функціональність також будуть визначатися екологічною складовою, ступенем взаємодії роботів і людей, необхідністю соціалізації роботизованих пристроїв і розвитком супутніх індустрій. Так, високошвидкісний інтернет дозволить підвищи-

ти рівень самоорганізації та розширить опціональність роботизованої техніки. А пандемія COVID-19 зумовила дуже важливі передумови для глобальної автоматизації онлайнових торгових майданчиків і створення роботів-кур'єрів, здатних фасувати, доставляти та навіть розігрівати продукти харчування.

2.5. Штучний інтелект

Штучний інтелект – це технологія, а точніше напрям сучасної науки, що вивчає способи як навчити комп'ютер, роботизовану техніку й аналітичну систему розумно мислити так, як мислить людина.

Штучний інтелект (ШІ, artificial intelligence, AI) – це метод змусити комп'ютер або програмне забезпечення "мислити" як людський мозок, що досягається шляхом вивчення закономірностей роботи людського мозку та аналізу когнітивних процесів. Результатом цих досліджень є розроблення інтелектуального програмного забезпечення і систем [35, 39, 69, 84, 111].

Штучний інтелект – це розділ комп'ютерної лінгвістики та інформатики, який швидко розвивається, і зосереджений на розробленні інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які, зазвичай, потребують людського інтелекту. Ці завдання можуть варіюватися від простих дій, як від розпізнавання мови або зображень, до більш складних завдань, як від ігри або водіння автомобіля.

Штучний інтелект – це галузь інформатики, яка займається проектуванням і конструюванням комп’ютерних систем, здатних виконувати завдання, що вимагають інтелекту, зазвичай, пов’язаного із людським інтелектом. Такі інтелектуальні системи повинні виконувати творчі функції, мисленеві операції, які традиційно вважаються прерогативою людини: розуміння мови, уміння навчатися, здатність міркувати, робити висновки і передбачати, вирішувати проблеми тощо.

Штучний інтелект є однією із найбільш актуальних і швидкорозвиваючих галузей сучасної науки і технологій. Він створений для полегшення людського життя, автоматизації виробництва і зменшення його вартості шляхом скорочення робочої сили, усунення людського чиннику в ситуаціях, де необхідна машинна точність. Він вивчається та застосовується у багатьох галузях, таких як медицина, економіка,

транспорт, освіта, сфера інформатики в різноманітних галузях життєдіяльності суспільства. Зокрема, для медичної діагностики, електронної комерції, дистанційного керування роботами та дистанційного зондування Землі.

Людей в середині 1950-х років значно вразили можливості обчислювальних машин, особливо здатності електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), безпомилково виконувати безліч завдань одночасно. У головах вчених і письменників відразу виникли фантастичні ідеї щодо машин, які мислять. Саме в цей період починають зароджуватися перші технології штучного інтелекту і з'явився сам термін "штучний інтелект".

Історія та етапи розвитку штучного інтелекту:

1950–1960 рр. Термін "штучний інтелект" вперше використав Алан Тьюрінг у 1950 році. У 1956 році відбулася Конференція Дартмута, на якій був висунутий термін "штучний інтелект" та визначено основні завдання штучного інтелекту.

1960–1970 рр. У цей період виникли перші ШІ програми, спрямовані на графовий пошук та ігри, такі як шахи. Створення "ELIZA" – першої програми для вивчення мовленнєвого інтерфейсу.

1980–1990 рр. Втрата інтересу до штучного інтелекту через недостатній прогрес у вирішенні складних завдань. Зосереджено увагу на експертних системах та обмежених областях застосування.

1990–2000 рр. Виникнення нейронних мереж і відновлення інтересу до машинного навчання. IBM Deep Blue перемагає чемпіона світу із шахів.

2000–2024 рр. Експоненційний ріст обчислювальної потужності дозволяє розвивати глибоке навчання. Штучний інтелект використовують в автономних автомобілях, перекладачах, розпізнаванні обличчя та інших сферах повсякденного життя.

Напрями подальшого розвитку штучного інтелекту можна умовно поділити на кілька основних категорій (рис. 2.21).

Перш за все, це розвиток алгоритмів та моделей машинного навчання. Машинне навчання є основою багатьох систем штучного інтелекту, які використовуються в різних галузях. Розвиток нових алгоритмів і моделей дозволяє покращити точність і ефективність систем штучного інтелекту.

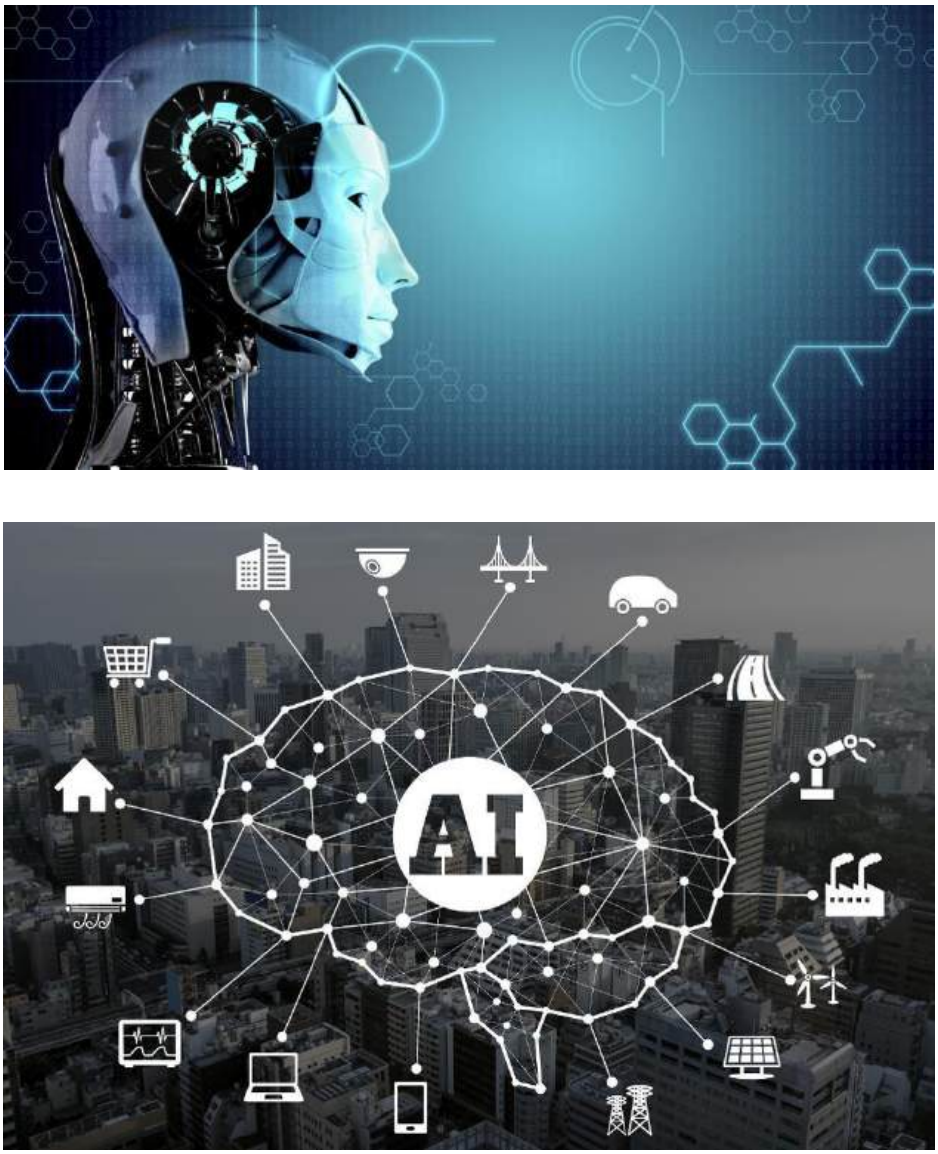


Рисунок 2.21 – Застосування штучного інтелекту

Другий напрям – це розвиток обчислювальної потужності. Щоб працювати із великими обсягами даних та складними алгоритмами, потрібні потужні обчислювальні ресурси. Розвиток технологій, таких як квантові обчислювачі, може значно розширити можливості штучного інтелекту.

Третій напрям – це розвиток прикладних систем штучного інтелекту. Він включає створення систем автоматизованого аналізу даних, систем прогнозування, систем штучного інтелекту для роботів і автономних транспортних засобів, систем інтелектуального аналізу текстів та багато іншого.

Четвертий напрям – це розвиток систем штучного інтелекту із можливістю самонавчання. Системи, які можуть навчатися на основі власного досвіду і взаємодії з навколишнім середовищем, можуть бути більш гнучкими та ефективними.

Одним із ключових напрямів розвитку штучного інтелекту є розроблення етичних стандартів і законодавства. Під час використання штучного інтелекту важливо дотримуватися принципів справедливості, безпеки і прозорості.

Актуальними напрямами розвитку штучного інтелекту необхідно також розглядати:

- підвищення доступності штучного інтелекту і його використання у всіх сферах суспільства. Це означає розроблення простих у використанні інтерфейсів для взаємодії із системами штучного інтелекту, а також навчання людей користуватися цими системами;
- розроблення систем штучного інтелекту, спроможних працювати в умовах невизначеності та непередбачуваності. Це включає розроблення алгоритмів, які можуть адаптуватися до змін у навколишньому середовищі та вирішувати нові завдання, не маючи чіткого шаблону;
- розвиток систем штучного інтелекту, спроможних працювати у співпраці із людьми. Це означає створення систем, які можуть взаємодіяти із людьми, розуміти їх потреби та враховувати їхні побажання;
- забезпечення безпеки і захищеності систем штучного інтелекту від зловживань. Із введенням штучного інтелекту в різні сфери життя виникають нові загрози, такі як можливість використання систем штучного інтелекту для злочинних цілей або порушення приватності людей.

Тому важливо розвивати методи захисту систем штучного інтелекту від несанкціонованого доступу та зловживань;

- вивчення впливу штучного інтелекту на суспільство та етичні аспекти його застосування, оскільки він може привести до змін у різних сферах, включаючи економіку, працевлаштування і соціальні відносини. Тому важливо розвивати етичні стандарти використання штучного інтелекту, щоб мінімізувати його негативний вплив на суспільство;
- інтеграцію штучного інтелекту із іншими передовими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT), блокчейн та кіберфізичні системи. Це відкриває нові можливості для створення інноваційних продуктів і послуг, які можуть значно поліпшити якість життя людей і зробити бізнес більш ефективним і конкурентоспроможним;
- застосування штучного інтелекту в боротьбі із складними глобальними проблемами, такими як зміна клімату, боротьба із стихійними лихами, підвищення якості медичного обслуговування тощо. Штучний інтелект може допомогти у виявленні закономірностей і розробленні стратегій реагування на ці виклики, що дозволить ефективніше вирішувати їх у майбутньому;
- застосування штучного інтелекту у сфері освіти, де він може допомагати в удосконаленні навчальних програм, індивідуалізації навчання і підвищенні ефективності навчального процесу. Використання штучного інтелекту може допомогти створити більш доступну та якісну освіту для всіх шарів суспільства.

Отже, штучний інтелект відіграє все більш важливу роль у сучасному світі і має великий потенціал у вирішенні різних глобальних проблем. Продовження досліджень у цій галузі та розвиток нових технологій дозволять створити ще більш інтелектуальні та гнучкі системи, які покращать якість життя людей і сприятимуть загальному прогресу суспільства. Однак важливо пам'ятати щожо етичних аспектів використання штучного інтелекту і забезпечення безпеки його застосування.

Напрями створення штучного інтелекту можна розглядати і з іншої точки зору:

- створення комп'ютерних систем, що імітують діяльність людини (наприклад, емоції, мовлення, жести, відчуття, творчість тощо);
- створення комп'ютерних систем на основі використання біологічних елементів (наприклад, нейрокомп'ютера, біокомп'ютера);

• створення комп'ютерних систем, які імітують логічне мислення людини на основі використання систем логічного програмування (наприклад, мови Пролог, Лісп тощо);

• створення комп'ютерних систем, які будуть так званими інтелектуальними агентами, що сприймають навколишній світ за допомогою датчиків і впливають на об'єкти в навколишньому середовищі за допомогою деяких механізмів.

Сьогодні дослідження в галузі штучного інтелекту орієнтовано на такі сфери використання:

• розпізнавання образів (текстів, мови, графічних зображень, емоцій, запахів, шумів тощо) – наприклад, аналіз аерокосмічних фотографій, геодезичних карт, перетворення графічних зображень сканованих текстів у текстовий документ;

• машинний переклад текстів різними мовами – наприклад, використання комп'ютерних програм Promt, FineReader, Google Перекладач тощо;

• аналітична діяльність, експертні системи – наприклад, підбір квитків на транспорт із пересадками, прокладання оптимального маршруту за картою, діагностика захворювань, автопілот літака та автотранспорту, управління ядерним реактором;

• інтелектуальні системи інформаційної безпеки – наприклад, розпізнавання і захист від комп'ютерних вірусів, кібератак, програми інтелектуального захисту банківських систем тощо;

• робототехніка – створення і застосування роботів (технічних пристроїв для автоматизації людської праці), наприклад, на конвеєрних лініях виробництва автомобілів, у труднодоступних місцях вугільних шахт, у небезпечних для людини місцях атомного виробництва, військовій справі тощо;

• творчість та ігри – наприклад, створення комп'ютерної музики і малювання картин, комп'ютерних програм гри в шахи, розроблення інтелектуальних пристроїв-іграшок (томагочі).

Приклади використання штучного інтелекту

Olli – безпілотний автобус, створений Local Motors, який використовує технологію штучного інтелекту IBM Watson для допомоги людям із обмеженими можливостями (рис. 2.22). Штучний інтелект відповідає за розпізнавання навколишніх об’єктів – другого автомобілю,

пішоходу або іншої перешкоди. Над цим проектом працюють великі технологічні компанії (Google, Uber, Tesla тощо).



Рисунок 2.22 – Безпілотний автобус і безпілотні автомобілі

У Китаї, у місті Ченду відкрився готель Smart LYZ, у якому всі без винятку працівники готелю мають штучний інтелект: роботи зустрічають туристів, проводять реєстрацію і допомагають заселитися в номер. Найближчим часом планується відкрити ще 50 таких готелів (рис. 2.23). Перший готель із роботами з'явився в Японії у 2015 році, проте там зберігається значна частка участі людей.



Рисунок 2.23 – Готель із роботами і штучним інтелектом

Дослідження в сфері штучного інтелекту проводяться шляхом вивчення розумових здібностей людини та перекладання отриманих результатів в поле діяльності комп'ютерів. Таким чином, штучний інте-

лект отримує інформацію із різних джерел і дисциплін: це й інформатика, математика, лінгвістика, психологія, біологія, машинобудування. На основі масиву даних за допомогою технології машинного навчання комп'ютери намагаються імітувати інтелект людини (рис. 2.24).



Рисунок 2.24 – Штучний інтелект імітує інтелект людини

Головні цілі штучного інтелекту:

- створення аналітичних систем, які відзначаються розумною поведінкою, можуть самостійно або під наглядом людини навчатися, робити прогнози й будувати гіпотези на основі масиву даних;
- реалізація інтелекту людини в машині – створення роботів-помічників, які можуть поводитися як люди: думати, вчитися, розуміти і виконувати поставлені завдання.

Таким чином, штучний інтелект – це унікальний продукт технічного прогресу, що дає змогу машинам вчитися, використовуючи людський

і власний досвід, пристосовуватися до нових умов в рамках свого застосування, виконувати різнопланові завдання, які тривалий час були під силу лише людині, прогнозувати події та оптимізувати ресурси різного характеру.

Технологічні принципи штучного інтелекту базуються на *машинному навчанні* (МН) – принцип розвитку штучного інтелекту на основі самонавчаючих алгоритмів. Участь людини за таким підходом обмежується завантаженням в "пам'ять" машини масиву інформації та постановкою мети. Машинне навчання допомагає фінансовим організаціям виявляти шахрайство. AI та ML також відіграють певну роль в обробці платежів, депонуванні мобільних чеків, страхуванні та наданні рекомендацій щодо варіантів інвестування.

Методики МН:

- навчання із учителем – людина задає конкретну мету, хоче перевірити гіпотезу або підтвердити закономірність;
- навчання без вчителя – результат інтелектуальної обробки даних невідомий – комп'ютер самостійно знаходить закономірності вчиться думати як людина;
- глибоке навчання – це змішаний спосіб, головна відмінність в обробці великих масивів даних і використання нейромереж (рис. 2.25).

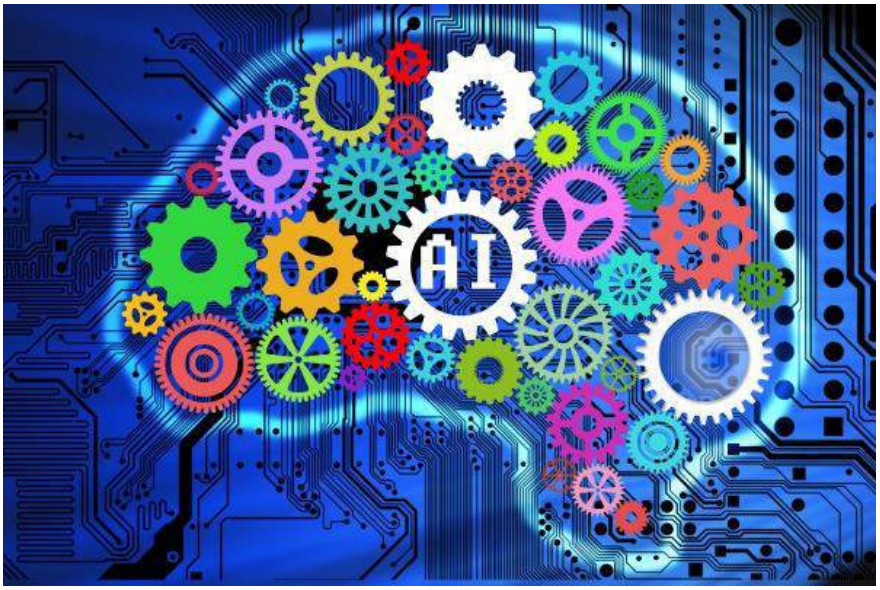


Рисунок 2.25 – Образ імітування інтелекту людини

Штучний інтелект в освіті змінить спосіб навчання людей різного віку. Використання artificial intelligence для ML, обробка природної мови і

розпізнавання облич допомагає оцифровувати підручники, виявляти плагіат, оцінювати емоції студентів, аби визначити, кому важко, а кому нудно.

Нейромережа – математична модель, яка імітує будову та функціонування нервових клітин живого організму. В ідеалі – це система, що самостійно навчається. Якщо перенести принцип на технологічну основу, то нейромережа – це безліч процесорів, які виконують якусь одну задачу в масштабному проекті. Тобто, суперкомп'ютер – це мережа із безлічі звичайних комп'ютерів.

Глибоке навчання відносять в окремий принцип штучного інтелекту, оскільки цей метод використовують для виявлення закономірностей у величезних масивах інформації. Для такої тяжкої для людини роботі комп'ютер використовує вдосконалені методики.

Когнітивні обчислення – це один із напрямів штучного інтелекту, який вивчає і впроваджує процеси природної взаємодії людини та комп'ютера на зразок взаємодії між людьми. Мета технології штучного інтелекту полягає в повній імітації людської діяльності вищого порядку: мова, образне та аналітичне мислення.

Комп'ютерний зір – цей напрям штучного інтелекту використовують для розпізнавання графічних і відеозображень. Сьогодні машинний інтелект може обробляти та аналізувати графічні дані, інтерпретувати інформацію відповідно до навколишнього середовища (рис. 2.26).



Рисунок 2.26 – Комп'ютерний зір

Синтезоване мовлення. Комп'ютери вже можуть розуміти, аналізувати і відтворювати людську мову. Ми вже можемо управляти програмами, комп'ютерами і гаджетами за допомогою мовних команд. Крім того, важко уявити існування штучного інтелекту без потужних графічних процесорів, які є серцем інтерактивної обробки даних. Для інтеграції штучного інтелекту в різні програми і пристрої необхідна технологія API – програмні інтерфейси додатків. Використовуючи API, можна без вагань додавати технології штучного інтелекту в будь-які комп'ютерні системи: домашню безпеку, розумний будинок, обладнання із ЧПУ тощо.

Сфери використання штучного інтелекту:

- *медицина і охорона здоров'я.* Комп'ютерні системи здійснюють облік пацієнтів, допомагають у розшифруванні діагностичних результатів, наприклад, знімки УЗД, рентгену, комп'ютерної томографії та іншого медичного обладнання, тобто допомагають сканувати цифрові зображення і забезпечують комп'ютерну інтерпретацію медичних зображень. Інтелектуальні системи навіть можуть за наявністю ознак у пацієнта визначати хворобу, пропонувати оптимальні варіанти лікування. Крім того, комп'ютерні системи застосовують для аналізу серцебиття, а роботів-супутників – для догляду за літніми людьми. Пошук ме-дичних записів в архіві для надання точнішої інформації, розроблення плану лікування, надання консультацій і створення лікарських засобів теж здійснюється за допомогою комп'ютерних систем. Отже, штучний інтелект в медицині змінює спосіб взаємодії людей і лікарів. Він допомагає швидше і точніше ставити діагнози, прискорювати, спрощувати пошук ліків, контролювати пацієнтів за допомогою віртуальних помічників-медсестер тощо.
- *політика*. Інтелектуальні машини допомогли Бараку Обамі виграти другі президентські вибори. Для своєї кампанії тоді ще чинний президент США найняв кращу команду професіоналів в області аналізу даних. Фахівці використовували можливості інтелектуальних машин, щоб розрахувати найкращий день, штат та аудиторію для виступів Обами. За оцінками фахівців це дало перевагу в 10…12 %.
- *промисловість*. Штучний інтелект може аналізувати дані із різних виробничих ділянок і регулювати навантаження на устаткування. Крім того, інтелектуальні машини використовують для прогнозування попиту

в різних галузях промисловості (рис. 2.27). Таким чином, системи прогнозування і профілактичного обслуговування у виробничій галузі допомагають виробникам продукції уникнути дорогих простоїв та вибрати і обгрунтувати найбільш раціональні технологічні рішення, а впровадження штучного інтелекту в механізми контролю якості підвищує ефективність виробництва;



Рисунок 2.27 – Штучний інтелект дозволяє майже у 5 разів підвищити продуктивність праці у виробництві

- машинобудування. Існують автономні автомобілі, що керуються без людини. Штучний інтелект і датчики здійснюють аналіз, на основі якого ухвалюють рішення щодо руху на дорозі. Інформація із зовнішнього середовища надходить через велику кількість датчиків, якими оснащена машина, після чого штучний інтелект аналізує її. Це вивело сферу машинобудування на інший рівень і відкрило нові можливості в автомобільній промисловості;
- *ігрова індустрія, освіта*. Штучний інтелект активно застосовується розробниками ігор.

Розумні машини, робототехніка поступово впроваджуються в освітні процеси більшості держав.

Штучний інтелект має багато переваг. Так, він може допомогти автоматизувати роботу, виконуючи складні завдання, які потребують уваги, наприклад, виявлення дефектів на конвеєрі. Він може стежити за кібербезпекою, постійно відстежуючи мережевий трафік. Загалом штучний інтелект може зменшити людські помилки, виконуючи повторювані

дії самостійно. Крім того, він може обробляти величезні обсяги даних за допомогою ретельного аналізу, може обчислювати складні формули та, як правило, бути точнішим, ніж будь-яка людина. Однак, можливості штучного інтелекту на даній стадії розвитку не безмежні.

До головних труднощів розвитку штучного інтелекту можна віднести наступні обмеження:

- навчання машин можливе тільки на основі масиву даних, тобто будь-які неточності в інформації позначаються на кінцевому результаті;
- інтелектуальні системи обмежені конкретним видом діяльності. Так, розумна система налаштована на виявлення шахрайства у сфері оподаткування, тоді як виявляти махінації в банківській сфері вона не може. Отже, інтелектуальні системи є вузькоспеціалізованими програмами, яким ще далеко до багатозадачності людини;
- інтелектуальні машини не є автономними. Для забезпечення їх "життєдіяльності" необхідна ціла команда фахівців і значні ресурси.

Штучний інтелект тісно пов'язаний із розвитком комп'ютерної техніки, а також таких наук як математика, статистика, комбінаторика тощо.

Розглянемо основні види штучного інтелекту.

Чисто реактивні. Ці машини не мають пам'яті або даних для роботи, спеціалізуються лише на одній сфері діяльності. Наприклад, у шаховій грі машина спостерігає за ходами та приймає найкраще рішення, щоб перемогти (рис. 2.28,а).



а б

Рисунок 2.28 – Штучний інтелект: чисто реактивний (а) та із обмеженою памятью (б)

Обмежена пам'ять. Такі системи збирають попередні дані та продовжують додавати їх у свою пам'ять. Мають достатньо пам'яті або

досвіду, аби приймати правильні рішення, при цьому їхня пам'ять мінімальна. Наприклад, така машина може запропонувати ресторан на основі зібраних даних щодо місцезнаходження людини (рис. 2.28,б).

Теорія розуму. Цей тип штучного інтелекту розуміє думки і емоції, а також соціально взаємодіє (рис. 2.29).



Рисунок 2.29 – Штучний інтелект: теорія розуму

Самосвідомий. Самосвідомі машини – це майбутнє покоління нових технологій. Вони будуть розумними, чутливими, свідомими.

Як приклад штучного інтелекту розглянемо технологію "Розумний Дім". "*Розумний Дім*" – це система автоматизації та управління, яка використовує сучасні технології для підвищення комфорту, безпеки та енергоефективності в домашньому середовищі.

Технологія "Розумний Дім" значно полегшує повсякденне життя, надаючи користувачам контроль над різними аспектами їхнього дому через автоматизацію та віддалене управління. Це значно впливає на зручність, енергоефективність та безпеку:

1. Комфорт і зручність: можливість вдалого керування освітленням, температурою, аудіо- відеосистемами за допомогою мобільних пристроїв чи голосових асистентів; сценарії автоматизації, які адаптуються до потреб користувача (наприклад, регулювання освітлення під час перегляду фільму).

2. Енергоефективність: автоматичний контроль споживання енергії, що дозволяє ефективніше використовувати ресурси та зменшити витрати.

3. Безпека: системи відеоспостереження та датчики безпеки, які сповіщають про можливі небезпеки та дозволяють вдале управління системами захисту.

4. Змога симулювати присутність вдома при відсутності власників через автоматичне включення/вимикання освітлення та електроприладів.

5. Доступність: можливість керування системою віддалено, що дозволяє користувачам забезпечувати контроль над своїм домом навіть поза межами.

Переваги технології "Розумний Дім":

- збереження енергії та оптимізація ресурсів;
- підвищення рівня безпеки та захисту;
- зручне та ефективне управління побутовими процесами.

Приклади використання технології:

У побутовому використанні:

- голосовий контроль та освітлення: користувач може скористатися голосовим асистентом, щоб включити або вимкнути освітлення у будь-якій кімнаті, а також налаштувати яскравість та кольорову гаму за допомогою команд голосом;
- системи терморегулювання та режими: власник може налаштовати температуру в будинку через мобільний додаток, забезпечити зручний контроль та ефективне використання енергії. Також можна налаштувати режими, наприклад, "Домашній" або "Відсутній", автоматично регулюючи параметри.

Впровадження розумних систем у комерційних об'єктах:

- система управління енергоефективністю в офісах: встановлення розумних датчиків для автоматичного регулювання освітлення та температури в офісних приміщеннях відповідно до активності та потреб працівників. Це може призвести до значного зменшення витрат на електроенергію;
- безпека та зручність у готелях: впровадження систем контролю доступу через смарт-карти або мобільні додатки для гостей готелю. Автоматичне вимикання електроприладів та освітлення при виході гостя з номера для забезпечення енергозбереження;
- системи звукового керування в ресторанах чи барах: використання розумних аудіосистем для автоматизації музичного супроводу в ресторанах або барах. Зміна гучності чи музичних сценаріїв може відбува-

тися зручним чином через мобільний додаток або центральну систему управління;

- автоматизована система замовлення в магазинах: використання розумних систем для автоматизації процесу замовлення та оплати в кафе чи ресторанах. Це може забезпечити швидше та ефективніше обслуговування клієнтів.

Таким чином, технологія "Розумний Дім" відкриває нові горизонти для покращення якості життя та ефективності використання ресурсів. Розумний будинок не лише надає комфорт та зручність у керуванні основними системами, такими як освітлення, температура і безпека, але також сприяє енергоефективності та безпеці. Ця технологія швидко розвивається, впроваджуючи нові функції, такі як інтеграція з штучним інтелектом, розширення використання в комерційних об'єктах і підвищення рівня автоматизації. Важливим аспектом є також розвиток стандартів та засобів забезпечення безпеки та приватності користувачів.

Із ростом популярності та широким впровадженням розумних технологій у будинках, можна очікувати подальше покращення якості та різноманітності функцій розумних будинків, що в кінцевому рахунку спрямовано на створення більш сучасного, ефективного та затишного оточення для користувачів.

2.6. Нанотехнології

Із розвитком технологій людство все більше прагне до автоматизації та оптимізації всього навколо себе. Багато в чому оптимізація зачіпає форму, матеріал і розміри оптимізованих об'єктів. Комп'ютери стають все компактнішими, екрани все тоншими, а деякі пристрої навіть неможливо розгледіти неозброєним оком. Тому, чим менше сам пристрій, тем менше його складові. Все це відноситься до нанотехнологій. Існує безліч визначень даного терміну. Одним із таких визначень є: *нанотехнології* – це використання та маніпулювання процесами і матеріалами об'єктів в нанометровому масштабі.

Більш загальним можна розглядати таке визначення: *нанотехнології* – це сукупність методів та прийомів структуризації речовини на атомному та молекулярному рівнях з метою виробництва кінцевих продуктів із заздалегідь заданою структурою. Нанотехнологія надає можли-

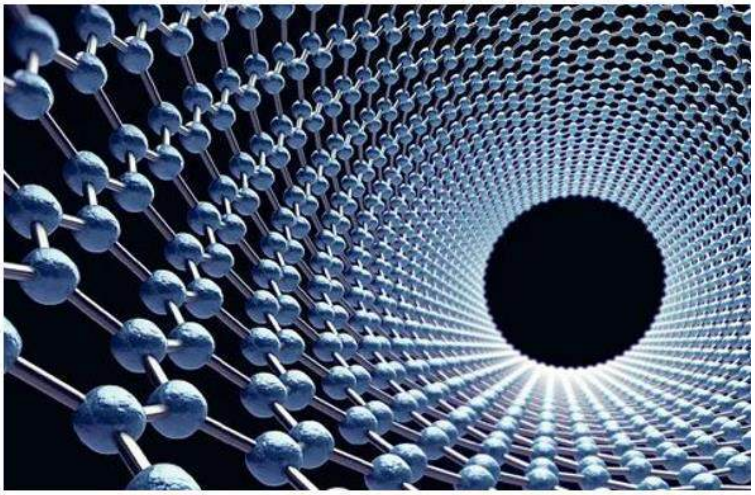
вість створювати об'єкти принципово нової якості, наприклад, створювати матеріали, що містять структурні наночастки та які мають якісно нові можливості й експлуатаційні характеристики. Все це дозволяє покращити властивості матеріалів та створювати пристрої з можливостями, які раніше були недосяжні на основі традиційних технологій.

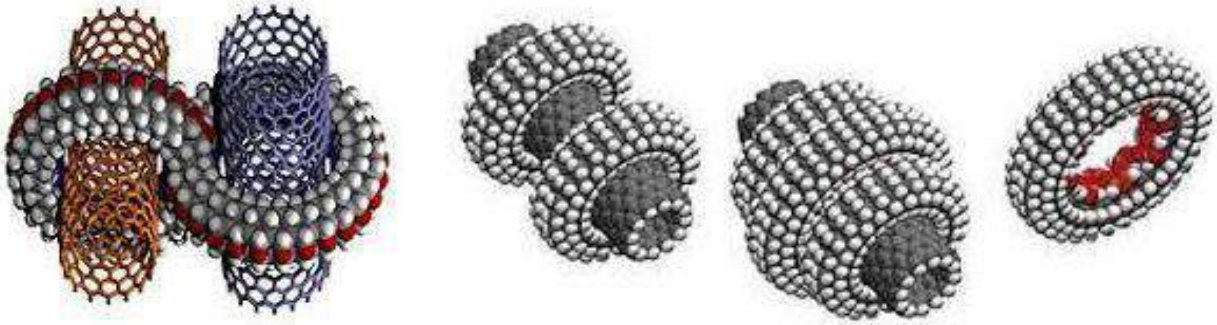
Сфери застосування нанотехнології пов'язані із такими науками як фізика, хімія, біологія та охоплюють такі різнорідні прикладні галузі як: косметику, автомобільні запчастини, медикаменти, упаковку їжі, спортивну екіпіровку, електроніку тощо. Крім того, активно досліджуються можливості використання нанотехнологій у військовій промисловості, сільському господарстві, для зменшення рівня різного роду забруднення довкілля. Зменшення розмірів структур призвело до появи нового виду об'єктів, таких як лазерні генератори, які мають унікальні можливості. Можливість синтезувати нанорозмірні структури з точно контрольованими розмірами та складом, а потім збирати їх у структури великих розмірів з унікальними можливостями та функціями призвело до радикальних змін у технологіях багатьох галузей промисловості, які виробляють матеріали [69, 71, 74, 77, 97, 122].

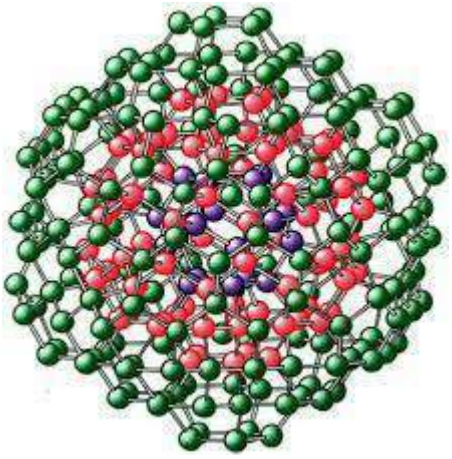
Нанотехнологія є насправді наукою конструювання, що робить її потужним інструментом перетворення матеріального світу. Вона поєднує науку, техніку та освіту. Можливість роботи на атомно-молекулярному рівні – з подальшим "атомним" складанням великих структур та з новими властивостями дозволяє інакше розуміти природу цих базових "будівельних блоків". Нанотехнологія дозволяє в мільйони разів точніше вимірювати в науці та техніці, а вдосконалені нано- та нейроелектронні комп'ютери дозволять вирішити багато проблем моделювання та обробки інформації (рис. 2.30).

Як зазначено раніше, *нанотехнології* – це галузь науки, що займається вивченням та застосуванням матеріалів, процесів і пристроїв на нанометровому рівні. Нанометр – це один мільярдний доля метра, що відповідає масштабам атомів та молекул. Слід зазначити, що розміри більшості атомів лежать в інтервалі від 0,1 до 0,2 нм, ширина молекули ДНК приблизно 2 нм, людської волосини – 80000 нм.

Головною особливістю нанотехнологій є здатність керувати матеріалами та процесами на атомному рівні для створення матеріалів із унікальними властивостями.







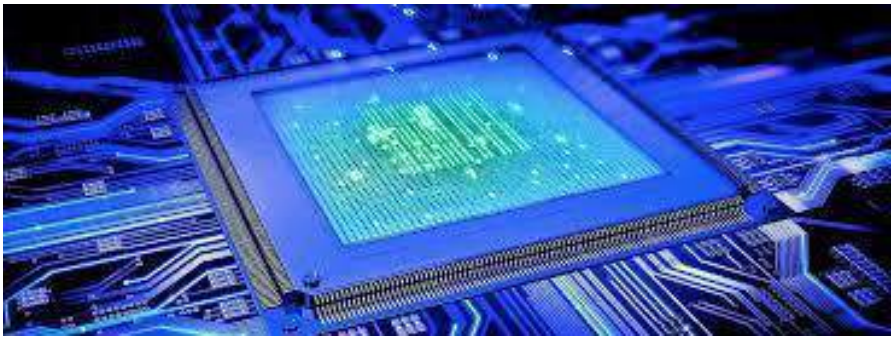


Рисунок 2.30 – Вироби нанотехнологій

Концепції, які передували нанотехнології, було вперше обговорено у 1959 році фізиком Річардом Фейнманом у його промові There's Plenty of Room at the Bottom, у якій він змалював можливість синтезу, за допомогою прямого маніпулювання атомами. Термін "нанотехнології" вперше використав Норіо Танігучі 1974 року, хоча це не стало широко відомо.

Основою сьогоднішньої наноіндустрії є керований механосинтез, тобто складання молекул із атомів за допомогою їхнього зближення доти, поки не вступлять у дію відповідні хімічні зв'язки. Для забезпечення механосинтезу необхідний маніпулятор, здатний захоплювати окремі атоми і молекули та маніпулювати ними в радіусі до 100 нм. Наноманіпулятор повинен управлятися або макрокомп'ютером, або нанокомп'ютером, вмонтованим у робота збирача (асемблера), керуючого маніпулятором. Створення подібних маніпуляторів справа майбутнього.

Зондова мікроскопія, за допомогою якої сьогодні здійснюється переміщення окремих молекул і атомів, обмежена в діапазоні дії, у зв'язку із чим сама процедура складання об'єктів з молекул на нанорівні, поки ще, не може бути автоматизована, через наявність інтерфейсу "Людина – комп'ютер – маніпулятор".

Завдяки розвитку нанотехнологій, які почали активно розвиватися наприкінці 80-х років XX століття, синтезована значна кількість наноматеріалів. За цей період вченими світу розроблено такі наноматеріали: фулерени, ліпосоми, дендримери, наносфери, наностержні, наноплівки, нанотрубки, нанокомпозити, нанокристали, нанодротинки, нанопорошки, нанороботи, нанокапсули, нанобіосенсори, нанопристрої, нанобіоматеріали, наноструктурні рідини (колоїди, міцели, гелі, полімери), фармакологічні нанопрепарати, засоби захисту від куль (спеціальні жилети) тощо. У медицині наночастинки мають перспективу застосування в ультрачутливому визначенні біомолекул, діагностичній візуалізації, для фотодинамічної терапії, цільової доставки лікарських речовин до органів мішеней, фототермічного лікування тощо. Наноматеріали знаходять якісне застосування практично в будь-якій галузі:

- паливній (паливні каталізатори, підвищення октанового числа, мінімізація вихлопів);
- косметичній (збагачення мікроелементами, бактерицидні властивості);

- текстильній, взуттєвій (бактерицидні і цілющі властивості одягу і взуття);
- лакофарбовій (бактерицидні лаки і фарби, особливі покриття);
- шкіряній (протигрибкова обробка шкіри);
- медичній (медпрепарати нового покоління, нановітамінні комплекси мікроелементів);
- у агропромисловому комплексі (нанодобрива, кормові добавки, зберігання продукції);
- харчовій промисловості (біологічно активні добавки, вітамінні комплекси);
- целюлозно-паперовій, хімічній, комунальній, електроніці, енергетиці, машинобудуванні в якості додаткового сировинного компонента додає додаткові властивості виробам;
- у будівництві (наноматеріали для будівництва, автономні джерела енергії на потужних сонячних батареях, нанофільтри для очищення води і повітря);
- у робототехніці (нанороботи як машини, здатні точно взаємодіяти з нанорозмірними об'єктами або здатні маніпулювати об'єктами в наномасштабі);
- у машинобудуванні (автомобільна галузь – одна із тих, що першою сприймає інновації, в тому числі нанотехнологічні).

Слід зазначити, що особливого застосування нанотехнології набули в таких галузях:

- у медицині: забезпечують прискорення розроблення нових ліків, створюють високоефективні форми і способи доставки лікарських засобів до вогнища захворювання, пропонують нові засоби діагностики, дозволяють провести нетравматичні операції;
- у виробництві модного одягу: одяг з вуглецевих нанотрубок не вимагає прання, в ньому неможливо захворіти, він не пропускає шкідливі гази і захищає від сучасної екології;
- у будівництві: наноматеріали для будівництва, автономні джерела енергії на потужних сонячних батареях, нанофільтри для очищення води і повітря. Додавання наночасток в бетон робить його в кілька разів міцніше. Розробляються нанопокриття, що захищають бетонні конструкції від води. Сталь, найважливіший будівельний матеріал, теж стає набагато міцніше за умови додавання наночастинок ванадію і молібде-

ну. Шпалери із покриттям із наночасток оксиду цинку допоможуть очистити приміщення від бактерій (рис. 2.31).

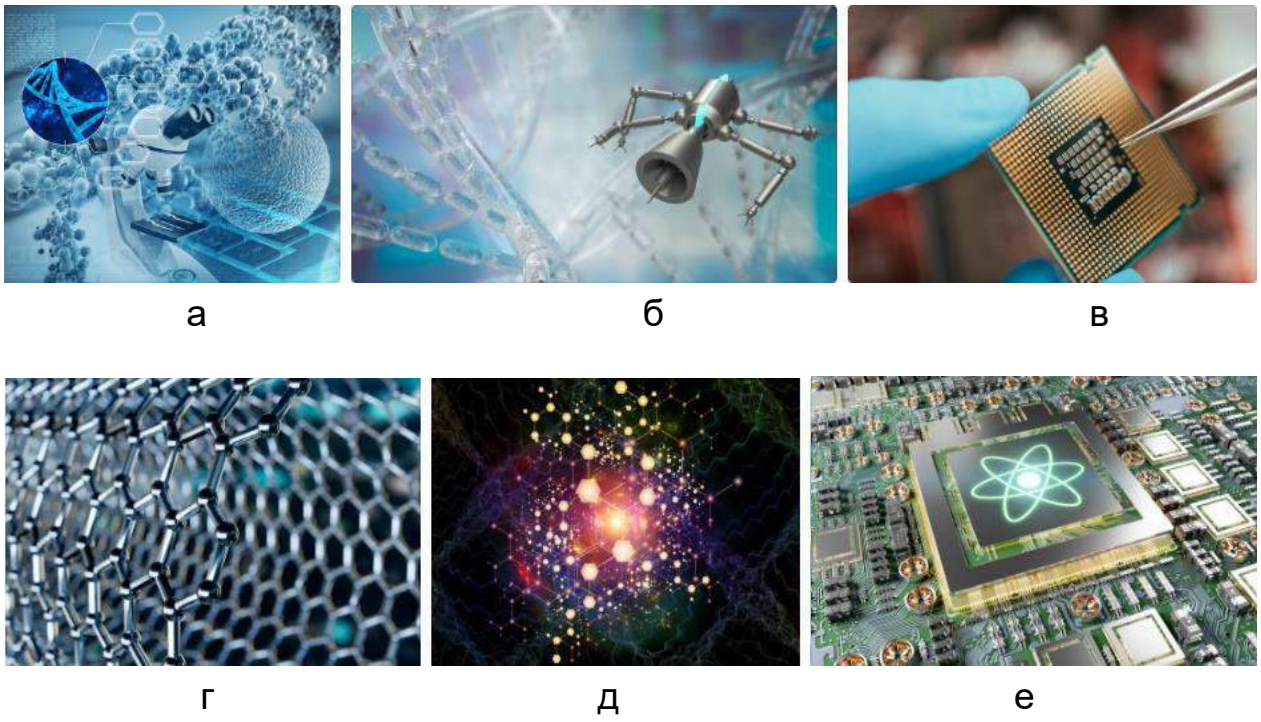


Рисунок 2.31 – Застосування нанотехнологій: мікроскоп, подвійна спіраль ДНК і людська клітина (а); наноробот (б), комп'ютерний мікрочіп і пінцет в руках інженера (в); структура молекулярної нанотехнології графена (3D) (г); молекулярна структура абстрактних атомів (д); мікросистемна техніка (е)

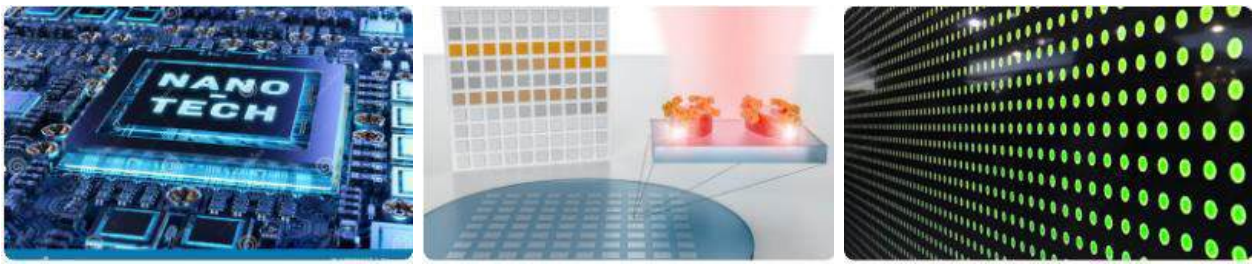
Отже, важко переоцінити значення досягнень нанотехнологій у різних галузях промисловості: електроніки та інформаційних технологій, напівпровідниковій промисловості, енергетики, оптики, автомобілебудуванні, хімії, біології, фармацевтики і медицині. Багато споживчих товарів і виробів, до яких відносяться деякі продукти харчування (шоколад, морозиво, креми тощо), мийні засоби, предмети парфумерії та особистої гігієни (зубні пасти, креми від засмаги, тональні креми, помади, лаки, фарби), напилювання на одязі, взутті, побутових предметах містять мікро- або наноструктури.

У харчовій промисловості наноматеріали застосовують у фільтрах для очищення води, використовують в якості різних емульгаторів, а також під час отримання більш легких, міцних, термічно стійких і пакувальних матеріалів, збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами.

Наночіпи використовують для ідентифікації умов і строків зберігання харчової продукції та виявлення патогенних мікроорганізмів. Для отримання різноманітних структур і матеріалів даного призначення розроблено складну технологію одержання сумішей із поверхнево-активних речовин і полімерних матеріалів. Ця область створення наноматеріалів і способів їхньої обробки отримала назву "м'якої нанотехнології".

Таким чином, нанотехнології представляють собою передову галузь, що вивчає матеріали і процеси на нанометровому рівні. Їх сутність полягає в можливості маніпулювати властивостями матеріалів на атомному рівні для створення інноваційних продуктів та рішень у різних галузях. Тому й приклади застосування нанотехнологій розманітні: від електроніки, медицини та енергетики до текстильної промисловості, космосу та харчової сфери. Ці технології мають потенціал трансформувати наше життя, забезпечуючи нові матеріали, методи виробництва та інструменти для розв'язання складних завдань і вирішення проблем у різних сферах людської діяльності. Нанотехнології відкривають широкі перспективи для інноваційного розвитку та покращення якості життя.

Зараз нанотехнології настільки поширені в нашому житті, що іноді ми навіть й уявити не можемо, де нам зустрічаються їхні сліди. Найяскравішим і популярним прикладом використання наночасток і нанотехнологій є смартфони, планшети й різні кишенькові комп'ютери. Не менш вражаючі приклади: фарба, здатна змінювати свій колір, зубна паста з ефектом відновлення зубної емалі, лейкопластир з найтоншим срібним покриттям для кращого й швидкого загоєння ран та багато інших. Нанотехнології дозволяють створювати мікрочіпи із більшою швидкістю та об'ємом пам'яті, що застосовують в сучасних комп'ютерах і електроніці (рис. 2.32).



а б в

Рисунок 2.32 – Електроніка та комп ютери: мікрочипи майбутнього (а); наночутливі сенсори (б) і ультратонкі екрани (в)

Наприклад, раніше на одному чипі можна було вмістити лише 30 транзисторів, а зараз один чип містить близько 40 млн. транзисторів величиною 130 – 180 нанометрів. Завдяки нанотехнологіям розробляють наночутливі наносенсори, які забезпечують точне вимірювання фізичних процесів та отримання цінної інформації. Нанотехнології дозволяють створювати наночутливі екрани з кращою якістю зображення, вищим розділенням і мінімальним енергоспоживанням.

Нанотехнології використовують для створення більш ефективних та екологічно чистих сонячних панелей, які розширюють можливості для використання сонячної енергії: вдається домогтися все кращого поглинання сонячної енергії. Завдяки нанотехнологіям розробляють нанобатареї, які мають більшу ємність, швидше заряджаються та мають довше життя, покращуючи енергоефективність. Отже, наноматеріали в сонячних батареях – це нові перспективи створення альтернативної енергетики (рис. 2.33).



а б в

Рисунок 2.33 – Нанотехнології в створенні альтернативної енергетики: наносонячних панелей (а); нанобатарей (б), наноакумуляторів палива (в)

Нанотехнології застосовують для створення нових матеріалів та структур, які забезпечують зберігання водню для використання в паливних елементах і знижують залежність від вуглеводнів. Створення наноматеріалів, які мають покращену міцність та ізоляцію, може призвести до революції в будівництві та створення більш стійких і енергоефективних будівель.

Композитні матеріали, отримані на основі нанотехнології, дозволяють виготовляти деталі кузовів автомобілів більш міцними і легкими. Додавання наночасток в паливо збільшує ефективність його згоряння та зменшує кількість викидів в атмосферу шкідливих речовин. Наночастки, які знаходяться в маслі, сприяють збільшенню ресурсу двигуна.

При цьому зношування деталей можна зменшити до 1,5 – 2 разів. Додавання наночасток вуглецю (так званого чорного вуглецю) у шинну гуму призводить до підвищення її міцності. Рідини, насичені магнітними наночастинками, використовують в амортизаторах із регульованою жорсткістю. Застосування нанофарб може забезпечити більш стійку та захищену фарбу для автомобілів, запобігаючи пошкодженням та збереженню оригінального вигляду.

Отже, нанотехнології відкривають нові можливості виготовлення сучасних автомобілів та дозволять зробити їх:

- доступними (нанотехнологічні методи виробництва дозволяють створювати товари і послуги з низькою собівартістю; в автомобілях майбутнього основної складової ціни буде "бренд");
- комфортними (більш досконала робота механічних частин, поліпшення шумо- та віброізоляції на основі наноструктурованих матеріалів, ергономічний салон);
- ефективними (підвищення середньої швидкості руху автомобілів, підвищення к. к. д. використання енергії, необхідної для перевезення людей і вантажів);
- інтелектуальними (широке впровадження інформаційних систем в усі вузли та компоненти автомобілів, прийняття автомобілем все більших функцій водія на себе);
- безпечними для людини та навколишнього середовища (нові, екологічно чисті силові установки, у тому числі широке використання в конструкції автомобіля наноматеріалів і можливість 100 % утилізації застарілих автомобілів).

Застосування нанотехнологій в аерокосмічній галузі дозволить:

- підвищити міцність літальних апаратів. Зараз ставиться завдання довести можливість їх здійснення до 70 – 90 тисяч польотів, що вимагає підвищення міцності, яку забезпечують нові наноматеріали;
- домогтися "живучості" і зниження ваги завдяки застосуванню наноматеріалів;
- переходячи на нанотехнології, можна досягти зниження тертя;
- вирішити завдання боротьби із обмерзанням і присипанням до зовнішньої сторони конструкції літальних апаратів різної "біологічної живності" за допомогою відшаровуючих частинок;
- знизити помітність літальних апаратів.

Космічні апарати майбутнього будуть вже не просто машинами для перевезення живих істот, але живими організмами. Вони зможуть навчатися, діагностувати і ремонтувати себе. Застосування нанотехнологій в аерокосмічній техніці здатне також забезпечити зниження енергоспоживання, вібрації і шуму, підвищення швидкості, надійності, стійкості до радіації, стійкості до перевантажень.

Нанотехнології з часом дозволять стабілізувати екологічну ситуацію, оскільки нові види промисловості не будуть виробляти відходи, які отруюють планету, а нанороботи зможуть знищувати наслідки старих забруднень. Крім того, нанотехнології зараз використовують для фільтрації води та інших рідин.

Таким чином, використання нанотехнологій настільки перспективне, що їх дослідження не припиняється ані на день, а в процесі проектування нових ідей та інновацій вже давно задіяні найкращі фахівці в цій галузі.

Із найостанніших відкриттів в наносфері можна назвати створення крихітного пристрою для передачі голографічного зображення, якому вже пророкують використання в рекламній індустрії, а також як доповнення в інтернет-комунікаціях; створення наноплівки для використання в гнучких сонячних батареях і в якості провідника електрики; створення нанороботів, здатних переміщуватися в рідині та в перспективі стати новим витком в наномедицині; створення нанороботів, здатних самостійно лагодити пошкодження в своїх електроланцюгах.

Об'єктами нанотехнологій на мікрорівні є:

- наночастинки, нанопорошки – це об'єкти, у яких три характеристичних розміри знаходяться у діапазоні до 100 нм;
- нанотрубки, нановолокна – це об'єкти, у яких два характеристичних розміри знаходяться у діапазоні до 100 нм;
- наноплівки – це об'єкти, у яких один характеристичний розмір знаходиться у діапазоні до 100 нм.

Об'єктом нанотехнологій можуть бути й макроскопічні об'єкти, атомарна або молекулярна структура яких створюється завдяки контрольованому запрограмованому розподілу мікрочастинок на рівні окремих атомів або молекул. Нанотехнології якісно відрізняються від традиційних технологій, оскільки в таких масштабах звичні (макроскопічні) технології для роботи із матерією часто непридатні, а мікроскопіч-

ні явища, зневажливо слабкі в звичайних масштабах, стають набагато більш значущими та непередбачуваними: властивості та взаємодії окремих атомів і молекул або агрегатів молекул, квантові ефекти приймають абсолютно новий характер (рис. 2.34).

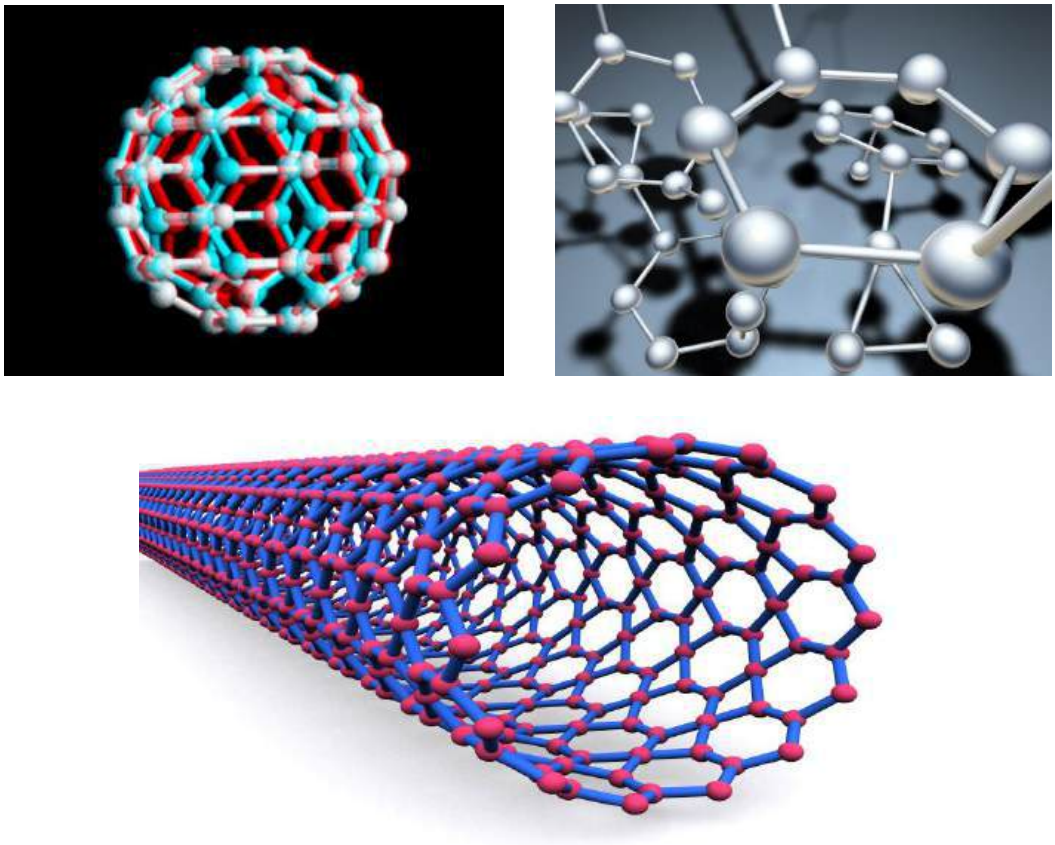


Рисунок 2.34 – Об'єкти нанотехнологій

На практиці нанотехнології – це технології виробництва пристроїв та їх компонентів, необхідних для створення, обробки і маніпуляції атомами, молекулами і частинками, розміри яких знаходяться в межах від 1 до 100 нанометрів.

Під час роботи з розмірами на атомно-молекулярному рівні проявляються квантові ефекти та ефекти міжмолекулярних взаємодій, таких як Ван-дер-Ваальсові взаємодії. Нанотехнології та, особливо, молекулярна технологія, – нові області, які зараз в світі інтенсивно досліджуються. Наприклад, розвиток сучасної електроніки йде шляхом зменшення розмірів пристроїв. З іншого боку, класичні методи виробництва наближаються до свого природного економічного і технологічного бар'єру, коли розмір пристрою зменшується не набагато, але при цьому економічні витрати зростають за експоненціальним законом.

Нанотехнології – черговий логічний крок розвитку електроніки, в першу чергу, а також інших наукоємних виробництв, включаючи машинобудування. Вони відкривають безліч можливостей для розроблення нових матеріалів і пристроїв з унікальними властивостями.

Вченим і технологам давно відомо, що дуже дрібні частинки різних речовин мають властивості неадекватні властивостям цих речовин у відносно великих об'ємних фазах. Наприклад, давні римляни застосовували сверхмалі частки золота або срібла для додання різним скляним виробам (келихам) специфічного забарвлення. Так було виготовлено кубок, який має рубінове забарвлення. Ефект досягнутий за рахунок введення в матеріал наночастинок золота, що надало склу благородні колірні рубінові оптичні властивості. Отриманий ефект не можна віднести до усвідомленого явища – це неусвідомлений процес склодувів, отриманий в результаті багатовікової практики. Аналогічно можна сказати про колоїдні суспензії, коли системи з частинками менше мікрометра в рідкому середовищі є лікарськими препаратами.

Початком ери нанотехнології та нанонауки можна вважати наступні події початку 1980-х років: народження науки щодо нанопорошків; винахід скануючого тунельного мікроскопа (STM). Ці досягнення, зокрема, призвели до відкриття фулеренів в 1986 році та вуглецевих нанотрубок через декілька років. Далі було вивчено синтез і властивості напівпровідникових нанокристалів. Це призвело до швидкого прогресу теоретичних і прикладних досліджень субмікроскопічних частинок.

Основним інструментом для роботи в області мікрочастинок на атомно-молекулярному рівні є мікроскопи. Історично без мікроскопа неможливо розглянути і пізнати мікросвіт. Підвищення здатності мікроскопа в пізнаванні мікросвіту та розширення знань щодо елементарних частинок відбуваються одночасно. В даний час за допомогою мікроскопів – атомно-силового мікроскопа (АСМ), скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) можна не тільки побачити окремі атоми, але також вибірково впливати на них, зокрема, переміщати атоми на поверхні. Вченим вже вдалося створити двовимірні наноструктури на поверхні, використовуючи даний метод.

Значна особливість нових матеріалів в процесі застосування нанотехнологій під час їх отримання – це непередбачувані одержувані фізико-технічні характеристики. У зв'язку із цим з'являється можливість

отримання нових квантових фізико-механічних характеристик в речовинах, у яких змінюються звичайні електронні структури. Наприклад, можливість зменшення розміру частки не завжди піддається визначенню й вимірам розмірів елементарних частинок за допомогою макрой мікровимірювань. Однак, це стає можливим, коли діапазон розмірів наночастинок знаходиться в зоні нано. Певна кількість фізико-механічних властивостей також змінюється зі зміною розмірів макроскопічних елементів. Зараз нові незвичайні механічні властивості наноматеріалів – це предмет дослідження наномеханікі. Особливе місце в нанотехнологіях (отримання нових речовин) займає застосування каталізаторів, що впливають на незвичайну поведінку наноматеріалів у взаємодії з біоматеріалами.

Частинки, розмірами від 1 до 100 нанометрів (нм), зазвичай, називають наночастинками. Так, наприклад, виявилося, що наночастинки деяких матеріалів мають дуже хороші каталітичні та адсорбційні властивості. Інші матеріали показують дивовижні оптичні властивості, наприклад, отримані прозорі керамічні матеріали на основі нанопорошків розмірами 2 … 28 нм із властивостями, кращими, ніж у крона (коефіцієнт заломлення n = 2,08 замість n = 1,52) тощо. Отримано взаємодію штучних наночасток із природними об'єктами нанорозмірів – білками, нуклеїновими кислотами тощо. Ретельно очищені наночастинки можуть самовстановлюватися в певні структури. Така структура містить строго впорядковані наночастинки й також набуває нові важливі властивості.

Нанооб'єкти діляться на три основні класи:

- тривимірні частинки, що отримують вибухом провідників, плазмовим синтезом, відновленням тонких плівок тощо;
- двовимірні об'єкти – плівки, що отримують методами молекулярного нашарування, CVD, ALD, методом іонного нашарування тощо;
- одномірні об'єкти – віскери – ці об'єкти отримують методом молекулярного нашарування, введенням речовин в циліндричні мікропори тощо.

Також існують *нанокомпозити* – матеріали, отримані введенням наночастинок в будь-які матриці. На даний момент широко застосовується тільки *метод мікролітографії*, який дозволяє отримувати на поверхні матриць плоскі острівкові об'єкти розміром від 50 нм, він застосовується в електроніці. Особливо слід зазначити методи іонного та

молекулярного нашарування, оскільки із їх допомогою можливе створення реальних покриттів-плівок (CVD, ALD) у вигляді моношарів.

Найважливішим завданням, що стоїть перед нанотехнологією – як змусити молекули або атоми групуватися певним способом, самоорганізовуватися, щоб у підсумку отримати нові матеріали або пристрої. Цією проблемою займається розділ хімії – *супрамолекулярна хімія*. Вона вивчає не окремі молекули, а взаємодії між молекулами, які, організовуючись певним способом, можуть призвести до появи нових речовин. Є надія на те, що природа дійсно має подібні системи та в ній здійснюються подібні процеси. Так, відомі біополімери, що здатні організовуватися в особливі структури. Це білки, які не тільки можуть згортатися в глобулярну форму, а й утворювати комплекси – тобто структури, що включають кілька молекул протеїнів (білків). Вже зараз існує метод синтезу, що використовує специфічні властивості молекули ДНК. До одного із кінців комплементарної ДНК приєднується молекула А або Б. Маємо речовини: ---- А і ---- Б, де ---- – умовне зображення одинарної молекули ДНК. Після змішування цих речовин, між двома одинарними ланцюжками ДНК утворюються водневі зв'язки, які притягнуть молекули А і Б одна до одної. Отримане з'єднання: ==== АБ. Молекулу ДНК можна легко видалити після закінчення процесу.

Молекулярна нанотехнологія, яку ще називають молекулярним виробництвом, розглядає питання проектування "наносистем-машин", що працюють і керують наночастинками на атомно-молекулярному рівні. Це особливо важливо для створення машин, здатних виготовляти інші машини, що призначені для відтворення потрібної подальшої системи, більш пристосованої до нових вимог.

До матеріалів, розроблених на основі наночасток з унікальними характеристиками, що випливають з мікроскопічних розмірів їх складових, відносяться:

- *вуглецеві нанотрубки* – протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох сантиметрів складаються з однієї або декількох згорнутих в трубку гексагональних графітових площин (графену) і закінчуються, зазвичай, напівсферичною головкою;
- *фулерени* – молекулярні сполуки, що належать до класу алотропних форм вуглецю (інші – алмаз, карбід і графіт) й є опуклими

замкнутими багатогранниками, складеними з парної кількості трьохкоординованих атомів вуглецю;

- *графен* – моношар атомів вуглецю (напівметал), отриманий в жовтні 2004 року в Манчестерському університеті. Графен можна використовувати детектором молекул (NO_2), який дозволяє детектувати прихід та відхід одиничних молекул. Графен має високу рухливість за кімнатної температури. Тому, коли вирішать проблему формування забороненої зони в ньому, можно буде розглядати графен як перспективний матеріал, що замінить кремній в інтегральних мікросхемах.

Наномедицина – це напрямок в сучасній медицині, заснований на використанні унікальних властивостей наноматеріалів і нанооб'єктів для відстеження, конструювання та зміни біологічних систем людини на наномолекулярному рівні. Для цього використовують специфічні основи молекул ДНК і нуклеїнових кислот для створення на їх основі чітко заданих структур.

Нанотехнології дозволяють розробляти наночастинки, які доставляють ліки безпосередньо до хворих органів та клітин, покращуючи ефективність лікування. Завдяки нанотехнологіям розробляють наносенсори, які виявляють ранні ознаки захворювань та дозволяють швидше встановлювати діагноз. Нанотехнології використовують для створення точних 3D моделей органів та їх біопринтингу, що може революціонізувати процес пересадки органів. У майбутньому нанороботи можуть бути використані для покращення точності медичних процедур, пошуку та лікування хвороб на клітинному рівні.

Нанотехнології знайшли широке застосування у харчовій промисловості. Завдяки нанотехнологіям розробляють наноупакування для поліпшення смаку, які можуть продовжити термін зберігання продуктів і забезпечити їх безпеку. Нанотехнології використовують для розроблення нанодобавок, які покращують смак і текстуру продуктів, не змінюючи їх основні властивості. Нанотехнології застосовують для вирощування "суперфруктів" із покращеними властивостями, такими як триваліше зберігання, більша поживна цінність і вища якість.

Список можливостей, що отримує людство від нанотехнологій, значно ширше. Більшість з нас регулярно користуються тими або іншими досягненнями нанотехнологій, навіть не підозрюючи про це. Наприклад, сучасна мікроелектроніка вже не мікро-, а нано: вироблені

сьогодні транзистори – основа всіх чіпів – лежать в діапазоні до 90 нм. І вже запланована подальша мініатюризація електронних компонентів до 60, 45 і 30 нм. Із новою технологією розміри деталей мікросхем опустяться суттєво нижче планки в 10 – 15 нм, в масштаби, де традиційні напівпровідникові транзистори просто фізично не можуть працювати.

Нанонаука – це дослідження явищ і об'єктів на атомарному, молекулярному й макромолекулярному рівнях, характеристики яких суттєво відрізняються від властивостей їх макроаналогів.

Нанотехнології – це конструювання, характеристика, виробництво й застосування структур, приладів і систем, властивості яких визначаються їх формою й розміром на нанометровому рівні.

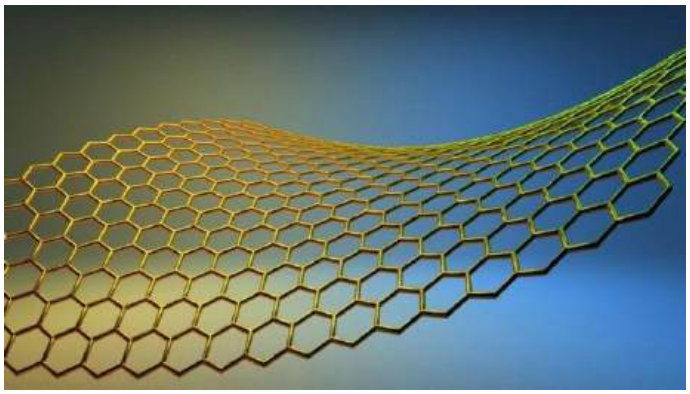
Іншими словами, нанотехнологія пов'язана із методами виробництва та застосування продуктів із заданою атомарною структурою шляхом контрольованого маніпулювання окремими атомами й молекулами. Нанотехнологія передбачає знання й управління процесами в масштабі 1 ... 100 нм. Продуктами нанотехнологій є більш досконалі матеріали, прилади та системи, що реалізують нові технологічні властивості.

Як зазначено раніше, термін "нанотехнологія" введено в обіг у 1974 році японським вченим НоріоТанігучі, який займався підвищенням точності та якості обробки виробів (деталей). Потрібно було зменшити шорсткість обробленої поверхні до рівня приблизно 10 нм під час виготовлення ходового гвинта підводного човна. Вважалося, що за цією шорсткістю оброблена поверхня приймає нові технологічні властивості, які фактично виключають шум ходового гвинта, і акустикою складно виявити підводний човен в підводному положенні.

Сутність нанотехнології полягає в тому, що дріблення матерії приводить до нових властивостей. Якщо працювати на рівні атома, то це призводить, згідно із законами атомної фізики, до ланцюгової реакції, яка використовується у військових цілях (під час створення атомної бомби) і в мирних цілях (під час створення атомних електростанцій). Якщо працювати з невеликою групою атомів, то частка атомів, розташованих на їх поверхні, є визначальною у формуванні нових властивостей об'єкта, оскільки властивості цих "поверхневих" атомів відрізняються від властивостей цих же атомів у великому обсязі (на макрорівні). Саме це є однією із основних причин прояви нових властивостей на нанорівні (рис. 2.35, рис. 2.36).



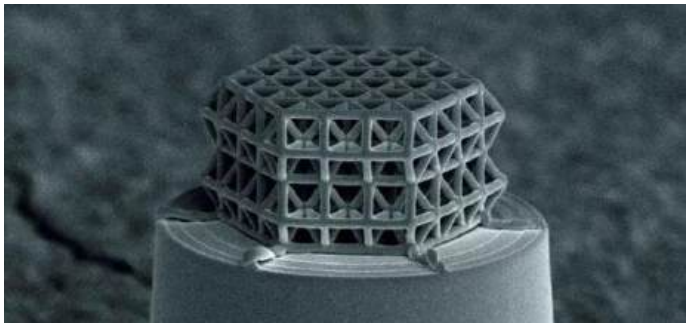
а



б



в



г

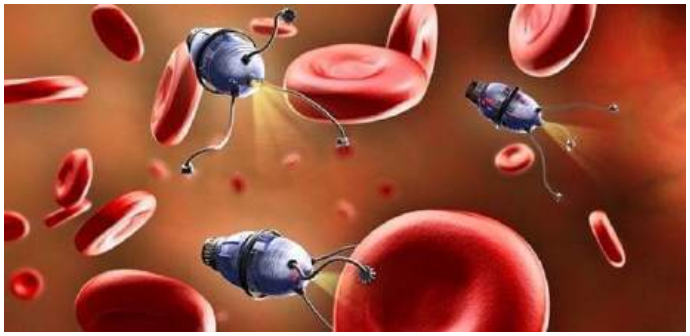
Рисунок 2.35 – Приклади застосування нанотехнологій: міцне оптоволокно (а); бумажні графенові мікросхеми майбутнього (б); кристал, який за твердістю може перевершити алмаз (в); найменша в світі решітчаста структура (г)



а



б



в



г

Рисунок 2.36 – Приклади застосування нанотехнологій: універсальне захисне покриття (а); "збільшувальне скло", за яким можна побачити атоми (б); медичні мікроботи із дистанційним керуванням, здатні виконувати операції (в); штучні корали для очищення океанів від токсичних забруднень (г)

Іншою причиною зміни властивостей є те, що на цьому розмірному рівні починає проявлятися дія законів квантової механіки, тобто рівень нанорозмірів – це рівень переходу від класичної механіки до механіки квантової. Як відомо, самим непередбачуваними є перехідні стани.

До середини XX століття фахівці навчилися працювати як з масою атомів, так і з одним атомом. Згодом стало очевидно, що "маленька купка атомів" – це щось інше, не зовсім схоже ні на масу атомів, ні на окремий атом. Мабуть, вперше, вчені й технологи впритул зіткнулися із цією проблемою в фізиці напівпровідників. У своєму прагненні до мініатюризації вони дійшли до таких розмірів частинок (кілька десятків нанометрів і менше), за яких їх оптичні й електронні властивості почали різко відрізнятися від таких же для частинок "звичайних" розмірів. Саме тоді стало остаточно зрозуміло, що шкала "нанорозмірів" – це особлива область, відмінна від області існування макрочастин або суцільних середовищ. Тому справжня нанотехнологія починається з моменту появи нових властивостей речовин, пов'язаних з переходом до масштабів, що відрізняються від властивостей об'ємних матеріалів. Отже, найсуттєвішою і найважливішою якістю наночастин, основною відмінністю їх від мікро- і макрочастин є поява у них принципово нових властивостей, які не виявляються за інших розмірів.

Часто першим нанотехнологом називали героя оповідання письменника Лєскова М. С. – Лівшу, який викував маленькі (мініатюрні) цвяхи й ними підкував блоху. Однак вони так і залишилися цвяхами й не змінили своїх функціональних та інших властивостей (утримувати підкову). Це приклад мініатюризації, а не приклад нанотехнології. А ось в фантастичному оповіданні "Мікроруки" Бориса Житкова описано приклад нанотехнології, тобто зміни властивостей зі зменшенням розмірів речовини: "Мені потрібно було витягнути тонкий дріт – тобто тієї товщини, яка для моїх живих рук була б як волосся. Я працював і дивився в мікроскоп, як простягали мідь мікроруки. Ось тонше, тонше – ще залишилося протягнути п'ять разів – і тут дріт рвався. Навіть не рвався – він розсипався, як зроблений з глини. Розсипався в дрібний пісок. Це була знаменита своєю в'язкістю червона мідь".

Використання в нанотехнології передових наукових досягнень дозволяє відносити нанотехнологію до високих технологій. Так, розвиток сучасної електроніки йде шляхом зменшення розмірів пристроїв. Однак

існує межа зменшення розмірів пристроїв, якщо використати класичні методи виробництва. У цих умовах на досить мале зменшення розмірів пристрою доводиться за експонентним законом збільшувати економічні витрати, що стає неефективно. Тому застосування нанотехнологій є важливим кроком розвитку електроніки та інших наукоємних виробництв.

2.7. Сутність 3D-друку

3D-друк – це методика виготовлення об'ємних виробів на основі цифрових моделей. Незалежно від конкретної технології, суть процесу полягає в поступовому пошаровому відтворенні об'єктів. У цьому процесі застосовується спеціальний електронний пристрій – 3D принтер, який друкує певними видами матеріалів. Інші назви технології – швидке прототипування або адитивне виробництво. Часто словосполучення "адитивні технології" використовується в значенні "3D-технології" [160].

Адитивні технології або 3D-друк – одна із форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) заданими цифрової моделі [7, 9, 11, 34, 69, 71, 79, 143].

3D-технології – це група технологій і методів, які дозволяють створювати, відображати і маніпулювати об'єктами у тривимірному просторі. Вони знаходять застосування в різних галузях, включаючи комп'ютерну графіку, виробництво, медицину, архітектуру, освіту, розваги та багато інших.

Застосування 3D-друку може порадувати не тільки дітей, а й захоплених колекціонерів, адже на 3D-принтері можна надрукувати фігурки будь-яких персонажів і атрибутів комп'ютерних ігор і фільмів. А кольоровий 3D-друк дозволяє виготовити ексклюзивні повнокольорові сувеніри – мініатюрні фігурки реальних людей.

В основі технології друку реальних тривимірних об'єктів лежить принцип створення моделей шляхом нарощування їх тіл. Однак, у тому підході, який використовують зараз у промисловості, існує безліч недоліків, головні з яких – великі часові витрати і висока частка відходів.

Тривимірним принтером, або 3D-принтером, називають спеціальний пристрій, здатний із комп'ютерної тривимірної моделі відтворити реальний фізичний об'єкт із призначеного для цього матеріалу (рис. 2.37).



а б

Рисунок 2.37 – 3D-принтер (а) та підготовчі роботи із 3D-принтером (б)

3D-принтер – це комп’ютеризований пристрій, який виготовляє фізичні об’єкти, шар за шаром, на основі цифрового 3D-моделювання. Ця технологія використовує різні матеріали, від пластику до металу, для створення реальних об'єктів із обраної тривимірної концепції.

Італійський робототехнік Енріко Діні створив принтер D-shape, який може надрукувати макет двоповерхового будинку, включаючи кімнати, сходи, труби і перегородки. Він використовує тільки пісок і не-органічний компаунд.

Принцип дії 3D-принтера

1. Апаратна частина:

- екструдер та механізм подачі матеріалу;
- робоча платформа (стіл);
- лінійні напрямні та мотори;
- система охолодження.

2. Програмне забезпечення:

- створення та редагування 3D-моделей;
- керування параметрами друку (швидкість, температура);
- підготовка файлів для друку (G-code);
- можливість моніторингу та управління друкарем через інтерфейс.

Матеріали для 3D-друку:

а) пластикові матеріали:

- ABS, PLA, PETG, Nylon;
- легкі для використання, відмінна доступність;

- застосування: прототипування, виробництво деталей для щоденного використання;

б) металеві матеріали:

- нержавіюча сталь, алюміній, титан;
- додаткова обробка можлива після друку;
- застосування: аерокосмічна промисловість, виробництво прецизійних компонентів;

в) біоматеріали:

- біорезорбовані полімери, гідрогелі;
- використовують у медицинських додатках;
- застосування: виготовлення біомедичних імплантатів, тканинний інжиніринг.

Історія 3D друку:

Технологія 3D-друку була запатентована в 80-х роках XX століття, але популярність здобула відносно недавно. Це досягнуто завдяки розробленню нових перспективних методик, у результаті чого можливості 3D-технологій вийшли на абсолютно новий рівень (рис. 2.38).

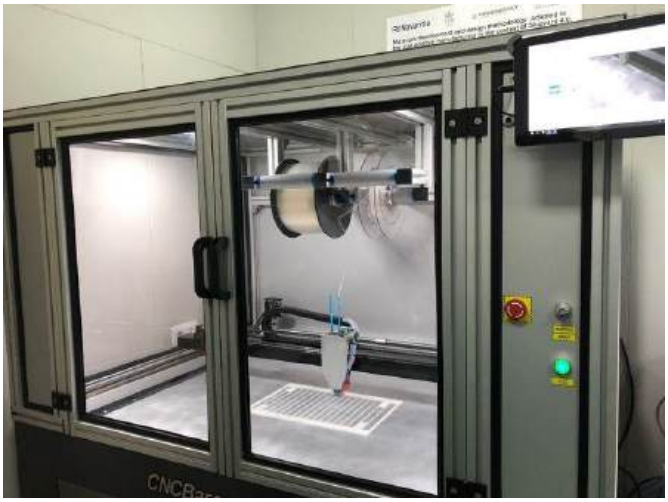


Рисунок 2.38 – Технологія 3D-друку

Починаючи із 2003 року, спостерігається значне зростання у продажі 3D-принтерів. Крім того, вартість 3D-принтерів постійно зменшується. Технологія також знаходить застосування в сфері виробництва ювелірних виробів, взуття, промислового дизайну, архітектури, проектування і будівництва в атомній, автомобільній, аерокосмічній, стоматологічній та інших галузях.

На середину 2010-х років стала доступною велика кількість конкуруючих технологій, що дозволяють створити 3D-модель (рис. 2.39). Їхні основні відмінності відносяться до етапу побудови шарів під час створення деталі. Деякі технології використовують плавлення або розм'якшення матеріалу для виробництва шарів (SLS, FDM), інші – використовують рідкі матеріали, які твердіють за різними принципами.

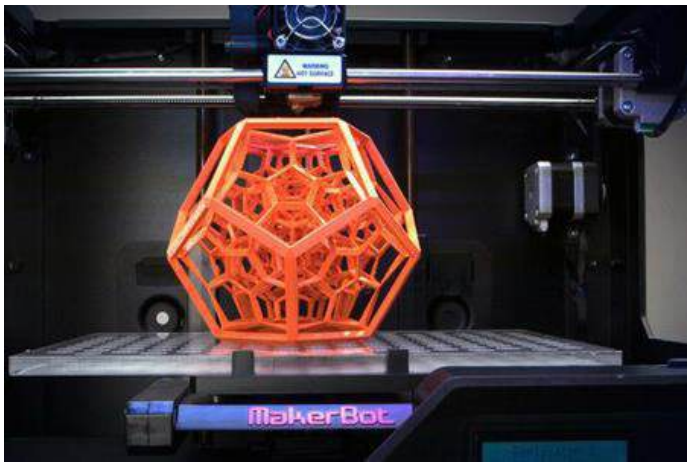


Рисунок 2.39 – Створення 3D-моделі

Для відтворення різних об'єктів використовують різні технології 3D-друку [152]. Вони відрізняються як застосовуваними витратними матеріалами, так і швидкістю і точністю друку. До основних технологій 3D-друку відносять:

Моделювання методом наплавлення (Fused deposition modeling, FDM). Одна з найпоширеніших технологій 3D-друку, застосовується в більшості настільних 3D-принтерів. Друк відбувається за допомогою пошарової подачі нитки розплавленого пластику, тобто нагріті шари пластику наносяться шар за шаром. Переваги друку: доступність та широкий вибір матеріалів. Застосовується під час прототипування та виробництва деталей.

Стереолітографія (Laser stereolithography, SLA). Формування об'єкта відбувається шляхом пошарового засвічування лазером рідкої фотополімерної смоли, яка твердіє під дією випромінювання. Переваги друку: висока роздільна здатність і точність. Застосовується для виготовлення медичних моделей, виробів високої деталізації. Одна із варіацій даної технології – DLP 3D-друк. У цій технології замість лазера застосовують спеціальний проектор. Обидві технології 3D-друку засто-

совують для створення об'єктів із високим ступенем деталізації. У разі DLP 3D-друку додатковою перевагою є також швидкість.

Селективне лазерне спікання (Selective laser sintering, SLS). Відтворення виконується шляхом пошарового плавлення спеціального порошку під дією лазерного випромінювання. Лазер використовують для зливання порошку в шари. Переваги друку: можливість використання різних матеріалів, висока міцність. Цей метод 3D-друку широко застосовують у промисловості для виготовлення міцних металевих елементів, виробництва прототипів, виготовлення деталей для авіації.

Способи та принципи друку

Лазерна. Лазерний друк – ультрафіолетовий лазер поступово, піксель за пікселем, засвічує рідкий фотополімер, або фотополімер засвічується ультрафіолетовою лампою через фотошаблон, мінливий із новим шаром. При цьому він твердне і перетворюється на достатньо міцний пластик.

Лазерне спікання – при цьому лазер випалює в порошку із легкосплавного пластику, шар за шаром, контур майбутньої деталі. Після цього зайвий порошок струшується із готової деталі.

Ламінування – деталь створюється із великої кількості шарів робочого матеріалу, які поступово накладають один на одного і склеюють, при цьому лазер вирізає в кожному контур перетину майбутньої деталі.

Струменева. Застигання матеріалу під час охолодження – роздавальна голівка видавлює на охолоджувану платформу-основу краплі розігрітого термопластика. Краплі швидко застигають і злипаються, формуючи шари майбутнього об'єкта.

Полімеризація фотополімерного пластику під дією ультрафіолетової лампи – спосіб схожий на попередній, але пластик твердне під дією ультрафіолету.

Склеювання або спікання порошкоподібного матеріалу – те ж саме що і лазерне спікання, лише порошок склеюється клеєм, що надходить із спеціальної струменевої голівки. При цьому можна відтворити забарвлення деталі, використовуючи сполучні речовини різних кольорів.

Загалом, технології на основі 3D-принтерів перетворюють способи виробництва і творчості, вносячи інновації у багато галузей та породжуючи нові можливості та виклики (рис. 2.40).





Рисунок 2.40 – Вироби, виготовлені за технологіями 3D-друку

Основні аспекти 3D-технологій:

Моделювання: створення тривимірних моделей об'єктів за допомогою спеціальних програмних засобів. Це може бути як моделювання об'єктів з нуля, так і реалістичне відтворення реальних об'єктів.

Візуалізація: відображення 3D-моделей на екрані комп'ютера або іншому пристрої із можливістю обертання, масштабування та перегляду із різних кутів.

Анімація: створення рухомих об'єктів і сцен у тривимірному просторі, що дозволяє створювати відеоролики, ігри та інтерактивні застосунки.

Віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (AR): використання 3D-технологій для створення іммерсивних оточень у віртуальному або доповненому реальному просторі.

Виробництво: використання 3D-друку та комп'ютерної числової обробки для створення фізичних об'єктів, включаючи прототипи та елементи виробництва.

Забезпечується швидке прототипування та виробництво деталей для авіації та автомобільної промисловості. Так, всесвітньо відома компанія Boeing і американська корпорація Lockheed Martin вже розпочали створення деталей двигуна і несучих елементів конструкції. Предмети виготовляють із суцільнометалевих матеріалів за технологією лазерного спікання.

Багато автомобільних деталей можна легко надрукувати на принтері. Тому американська компанія Local Motors випустила автомобіль, корпус якого повністю виконаний із надрукованих деталей.

Медицина: 3D-технології використовують для створення тривимірних моделей органів та тканин, що допомагає лікарям у плануванні операцій, навчанні молодших медичних спеціалістів та виготовленні індивідуальних медичних імплантатів. Так, 3D-сканери дають найбільш точне зображення необхідної ділянки тіла, після чого з комп'ютерної моделі роздруковують копію та розраховують, як прооперувати це місце. 3D-друк застосовують для виробництва точних моделей органів для хірургічного планування і створення індивідуальних імплантатів.

Біомедицина: адитивні технології, також відомі як 3D-друк, змінили сферу біомедицини, здійснивши революцію в розробленні та виробництві медичних пристроїв, протезів і навіть біологічних тканин. Ця технологія забезпечує високий ступінь налаштування і точності та стає ідеальним інструментом у галузі медицини.

Архітектура та будівництво: 3D-моделювання і візуалізація допомагають архітекторам та будівельникам створювати візуалізації будівель та інженерних рішень, що дозволяє зменшити помилки та вдосконалити дизайн. 3D-друк знаходить широке застосування у виготовленні архітектурних макетів будівель, споруд, цілих мікрорайонів, катетжних селищ із усією інфраструктурою: дорогами, деревами, вуличним освітленням. Створення тривимірних об'єктів – ідеальна технологія для архітектури, оскільки за допомогою макетів дизайнери та інженери можуть якнайточніше побачити втілення придуманого об'єкта. Так, у швейцарській комуні Ріом-Парсонц встановлено інсталяцію із 9 індивідуально спроектованих бетонних колон висотою 2,7 м кожна, роздрукованих на будівельному фаббері за 2,5 години на основі 3D-друку.

Освіта: 3D-технології використовують для покращення навчання та надання студентам можливості досліджувати складні концепції у тривимірному середовищі.

Розваги: 3D-технології використовують для створення унікальних іграшок і сувенірів, в іграх, віртуальних атракціонах та розважальних виробництвах, які надають користувачам неймовірні враження та взаємодію з віртуальним світом. Тепер легко отримати готовий повноколірний прототип перед запуском виробу в масове виробництво.

Дизайн і мистецтво: художники та дизайнери використовують 3D-технології для створення вражаючих творінь мистецтва та дизайну, включаючи анімацію, скульптуру та інтерактивні інсталяції (рис. 2.41).



Рисунок 2.41 – Вироби, виготовлені за 3D-технологіями

Таким чином, 3D-технології знайшли широке застосування в медицині, архітектурі, дизайні та прототипуванні, автомобільній промисловості, освіті, авіації та космосі, спорті, мистецтві та розвагах, військовій промисловості, споживчих товарах тощо.

Розглянемо конкретні приклади застосування 3D-друку (рис. 2.42).

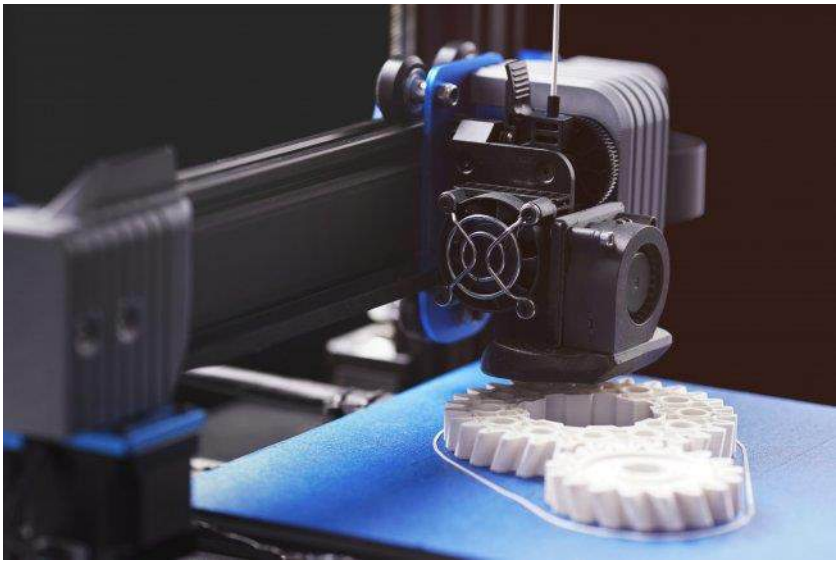


Рисунок 2.42 – Технологія 3D-друку

Технології в конструюванні і прототипуванні

Найкращий спосіб застосування 3D-друку – за його прямим призначенням. Створення дослідних зразків за допомогою 3D-друку значно скорочує час і витрати виробництва, а завдяки можливостям 3D-моделювання спектр проектованих деталей практично не обмежений. Прототипування дозволяє наочно оцінити можливі недоліки виробів ще на етапі проектування і внести суттєві зміни в конструкцію деталі ще до її остаточного затвердіння. Наприклад, ефективне застосування 3D-друку під час виготовлення деталей для технічних видів спорту (3D-друк в

авіамодельному спорті), під час аматорського виготовлення дрібних деталей і конструкцій у домашніх умовах.

Ефективність застосування технології SLA, що є однією із найбільш точних технологій 3D-друку на ринку. При цьому прототипи можуть бути створені із дуже високою якістю, із дрібними деталями (тонкі стіни, гострі кути тощо) і складними геометричними формами. Товщина шару може складати всього 25 мкм, із мінімальними розмірами елементів від 50 до 250 мкм. Поверхні друку гладкі, а обсяги складання можуть досягати 50×50×60 см.

Технології у промисловому виробництві

Найбільш ефективним застосуванням 3D-друку є дрібносерійне виробництво. Властивості багатьох матеріалів дозволяють виготовляти готові компоненти з мінімальними витратами. Порівняно із традиційними методами виробництва, дрібносерійне виробництво за допомогою 3D-друку дуже вигідно з фінансової точки зору. Виготовлення, наприклад, ливарних форм, являє собою тривалий і дорогий процес. При цьому, саме лиття під тиском займає чимало часу. На 3D-принтері ж надрукувати партію необхідних виробів можна в лічені години. Це застосування 3D-друку вкрай актуально за частих замовлень на невеликі партії деталей.

Наприклад, для виготовлення великогабаритних деталей для космічної галузі. Так, під час виготовлення величезної маківки (купола) ракети із титану діаметром 1,16 м (в межах проєкту корпорація Lockheed Martin) використано технологію електронно-променевого наплавлення металевих прутиків. Це допомогло зекономити не тільки час на виготовлення деталі, але й гроші. Завдяки 3D-друку весь процес виготовлення двох деталей вдалося скоротити від двох років до трьох місяців.

Особливо ефективним є застосування 3D-друку для швидкого виробництва – виготовлення готових деталей із матеріалів, які підтримуються 3D-принтерами. Також для виробництво складних, масивних, міцних і, головне, недорогих систем. Прикладом є безпілотний літак Polecat компанії Lockheed, велика частина деталей якого була виготовлена методом швидкісного тривимірного друку.

Ще одне ефективне застосування 3D-друку – це ремонт і відновлення пошкоджених деталей. Здійснювати 3D-друк можна як самостійно (за наявності відповідних навичок і устаткування), так і в спеціалізованих сервісах 3D-друку. Спершу на основі пошкодженого виробу

створюється правильна 3D-модель. Для спрощення проектування також може бути використано 3D-сканування. Далі готова модель відправляється в друк і відтворюється на 3D-принтері за потрібної кількості примірників. Ремонт і відновлення пошкоджених деталей за допомогою 3D-друку здійснюється швидко, а наявність цифрової моделі компонента дозволяє заново віддрукувати його в будь-який час.

Один із різновидів промислового застосування 3D-друку – це виробництво функціональних моделей і готових компонентів. Виготовлення виробів на 3D-принтері з прозорого матеріалу дозволяє побачити роботу функціональної деталі "зсередини". Це дуже корисно під час розроблення різних інженерних зразків. Крім того, широкий спектр різноманітних матеріалів для 3D-друку перетворює її в повноцінний виробничий інструмент. Промислові 3D-принтери поступово стають частиною кожної сфери виробництва, дозволяючи виготовляти міцні металеві компоненти.

Виробництво різних дрібниць у домашніх умовах.

Наприклад, якщо потрібен органайзер для канцелярії або підставка для ножів, то будь-які побутові предмети можна надрукувати на 3D-принтері. Перевага такого застосування 3D-друку полягає у тому, що під час розроблення 3D-моделей відсутні обмеження. Так, завдяки 3D-друку можна свій будинок прикрасити і зробити більш функціональним достатньо легко і менш коштовно. 3D-принтери дозволяють виготовляти меблі, які майже неможливо відрізнити від справжніх. Це досягається тим, що для друку використовується спеціальний пластик, до складу якого входить мікротирса (рис. 2.43).

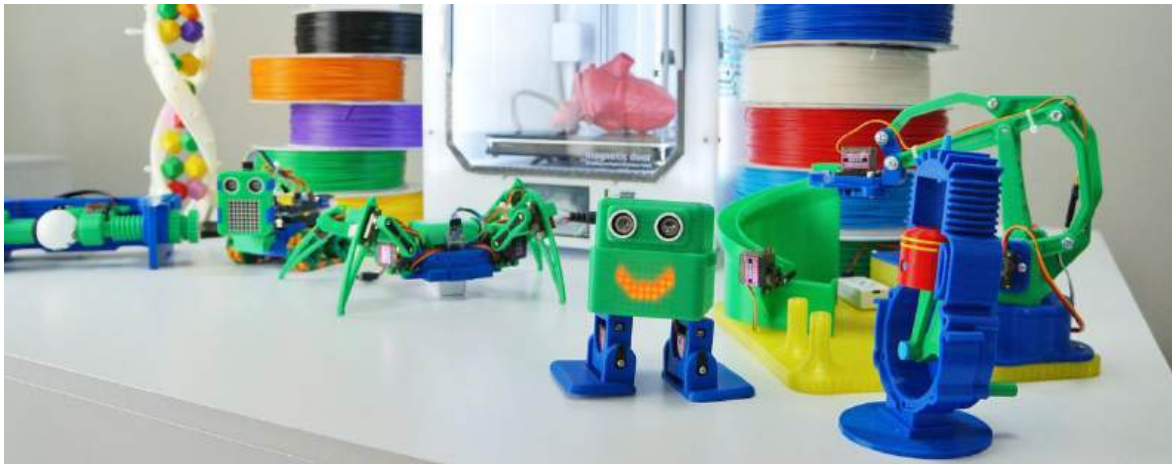


Рисунок 2.43 – Побутові предмети, надруковані на 3D-принтері

Технології виробництва одягу і взуття

Принтери з технологією 3D-друку поступово освоюють сферу виробництва одягу та взуття, і в першу чергу – виробництво моделей для високої моди. Деякі матеріали (наприклад, нейлон) цілком придатні для створення за допомогою 3D-друку одягу, причому готовий виріб набуває незвичайної форми і одночасно є достатньо міцним та еластичним.

Хірургічне планування

Використання 3D-принтерів у медицині дозволяє врятувати людські життя. Такі принтери можуть відтворити точну копію людського скелета для відпрацювання прийомів, які гарантують проведення успішної операції. Так, 3D-друковані моделі органів або патологічних структур знайшли застосування для передопераційного планування та інтраопераційного контролю. Ці моделі забезпечують тактильну та візуальну допомогу хірургам у розумінні складних анатомічних структур, у плануванні хірургічних підходів та передбаченні можливих ускладнень, що приводить до проведення більш безпечних і ефективних операцій.

Медичне протезування

Все частіше 3D-принтери використовують у протезуванні та стоматології, оскільки тривимірний друк дозволяє отримати протези найскладнішої форми для різних частин тіла і коронки значно швидше, ніж за класичною технологією виробництва. Стоматологічні протези, коронки, елайнери (пластикові скоби) – це саме ті предмети, для створення яких найкраще підходить 3D-принтер для стоматології.

У листопаді 2021 року 40-річному жителю Великої Британії Стіву Верзу медики офтальмологічної лікарні у Мурфілдсі встановили очний протез, надрукований на 3D-принтері за дві години.

Крім того, 3D-друк застосовують для друку їжі. Тривимірне моделювання активно застосовують для створення ювелірних прикрас, що мають особливо складну форму. Таким чином, 3D-друк є потужним інструментом для створення різноманітних об'єктів, але він також має свої обмеження та переваги. Розглянемо деякі з них.

Переваги 3D-друку:

Швидкість та ефективність прототипування: 3D-друк дозволяє виготовлення прототипів швидко та вартісно ефективно, що сприяє прискоренню процесу розроблення нових продуктів або дизайнів.

Індивідуалізація та кастомізація: виробництво на замовлення та індивідуалізація продукції стають реальністю завдяки 3D-друку, оскільки він дозволяє виготовлення унікальних, спеціалізованих виробів.

Низькі витрати на малий обсяг: друкування невеликих серій або одиничних деталей може бути економічно вигідним порівняно із традиційними методами виробництва.

Можливість створення складних геометричних форм: 3D-друк дозволяє створювати об'єкти із складною геометрією та внутрішньою структурою, що іноді неможливо або надто складно здійснити іншими методами.

Інновації в медицині та біології: в медицині 3D-друк використовують для виготовлення індивідуальних імплантатів, протезів та біопринтерів для виготовлення тканин і органів.

Обмеження 3D-друку:

Матеріали та властивості: деякі традиційні матеріали, які використовуються у виробництві, можуть мати кращі механічні властивості порівняно з матеріалами для 3D-друку. Однак технології розвиваються, і нові матеріали стають доступними.

Час друку: деякі великі та складні деталі можуть вимагати тривалого часу для друку, що може бути неефективним для масового виробництва.

Обмежена роздільна здатність та деталізація: роздільна здатність друку та розміри шарів можуть обмежувати точність та деталізацію виготовлених деталей.

Вплив на навколишнє середовище: використання певних матеріалів та технологій 3D-друку може мати вплив на навколишнє середовище, особливо у випадку пластиків та інших неекологічних матеріалів.

Необхідність досконалості в управлінні процесом: для досягнення оптимальних результатів важливо правильно налаштувати параметри друку, що може вимагати досвіду та часу.

Недоліки 3D-друку:

- друк зазвичай займає багато часу;
- круті схили й виступи вимагають опорних конструкцій в процесі будівництва. Такі деталі можуть потенційно зруйнуватися під час фаз друку або затвердіння;
- вартість друку SLA порівняно висока (наприклад, машина, матеріали, лабораторне середовище).

Типовими 3D-принтерами для SLA друку є Form 2/3 (Formlabs), Peopoly Moai.

Перспективи розвитку 3D-друку включають в себе технічні вдосконалення, екологічні питання, економічні перспективи, медичні досягнення, співпрацю між галузями, а також стандартизацію та безпеку, що визначає напрями розвитку технології та сприяє інноваційному вдосконаленню, розширює можливості для наукових та технічних інновацій, відкриває нові перспективи для індустрії та досліджень.

2.8. Біотехнології

Одним із найважливіших напрямів науково-технічного розвитку в більшості країн стають біотехнології. За допомогою цих технологій відкриваються можливості боротьби із забрудненням, вирішення продовольчої проблеми, отримання нових лікарських препаратів, лікування різних захворювань тощо [51, 69, 89, 104].

Біотехнологія – це галузь знань, яка вивчає та розробляє методи отримання корисних для людства продуктів за допомогою біологічних об'єктів: мікроорганізмів, клітин тварин і рослин. *Біотехнологія* – це використання біології для розроблення нових продуктів, методів і організмів, призначених для поліпшення здоров'я людини і суспільства.

Біотехнологію застосовують у багатьох предметах щоденного вжитку – від одягу, який ми вдягаємо, до сиру, який ми споживаємо. Протягом століть фермери, пекарі та пивовари використовували традиційні технології для зміни та модифікації рослин і продуктів харчування – пшениця є найдавнішим прикладом, а нектарин – одним із останніх.

Досягнення біотехнології:

- Олександр Флемінг встановив, що деякі цвілеві гриби можуть зупинити розмноження бактерій. Це привело до відкриття першого антибіотика – пеніциліну (1928 р.);
- Ананда Чакрабарті отримав бактерію, що поїдає нафту, створену штучно для ліквідації нафтових розливів на суші і на воді (1971 р.);
- завдяки біотехнології почали виробляти недорогий інсулін (1978 р.);
- застосування технології рекомбінантної ДНК; використання прокаріотної моделі кишкової палички для виробництва синтетичного інсуліну та інших лікарських засобів (1980 р.).

Сьогодні біотехнологія використовує сучасні наукові методи, які дозволяють покращити або модифікувати рослини, тварини, мікроорганізми із більшою точністю та передбачуваністю.

Споживачі повинні мати вибір із якомога ширшого переліку безпечних продуктів. Тому біотехнологія надає споживачам можливість такого вибору – не лише у сільському господарстві, а й у медицині та паливних ресурсах (рис. 2.44).



Рисунок 2.44 – Сучасні біотехнології

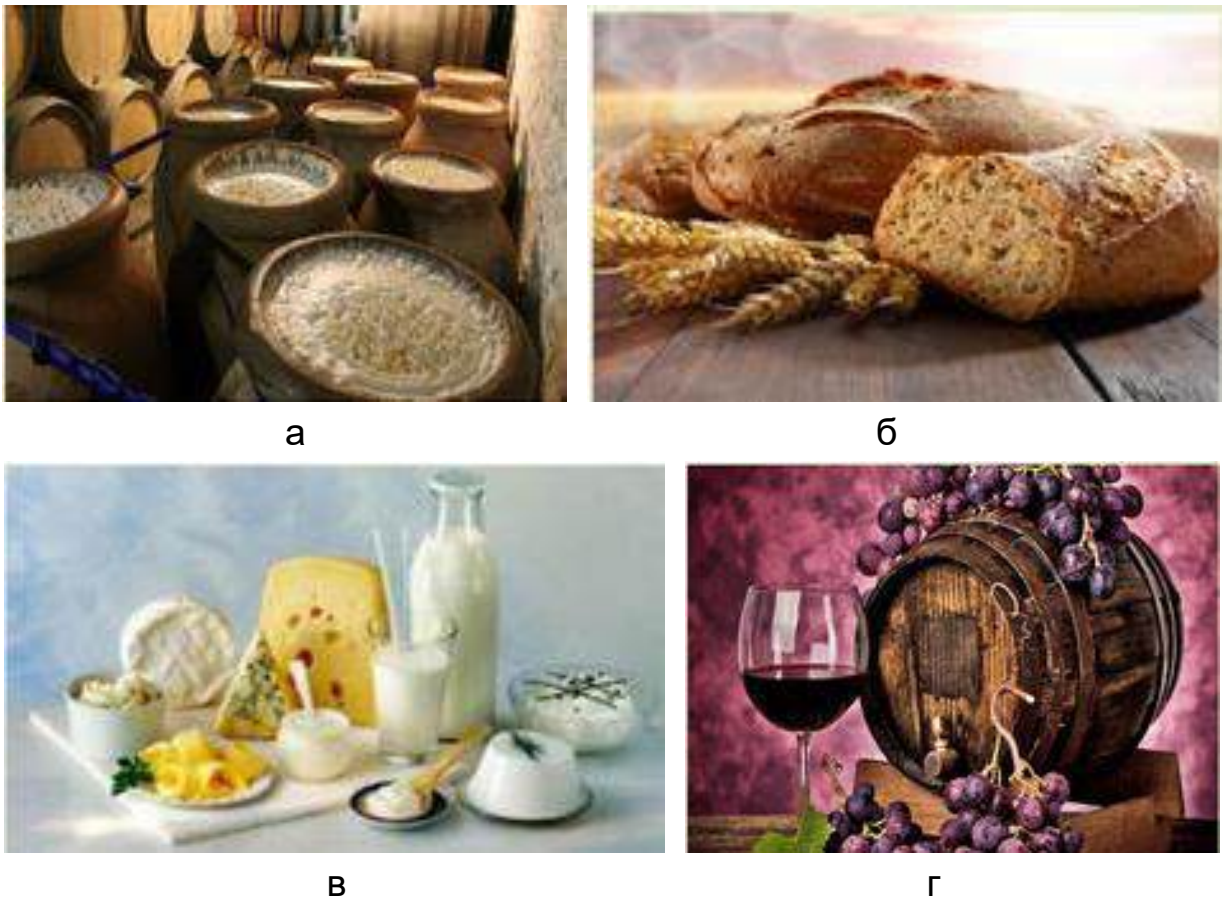
Сучасні біотехнології застосовують методи генної та клітинної інженерії. Вони дали змогу не тільки значно прискорити селекційний процес, а й отримувати нові сорти рослин, породи тварин та штами мікроорганізмів.

Можливість отримувати організми із принципово новими ознаками, завдяки технології рекомбінантних ДНК, дозволяє реалізувати принципово нові підходи у промисловості та сільському господарстві.

У сільському господарстві використання нових сортів, які стійкі до хвороб, посухи та заморозків, дозволить знизити відсоток браку їжі.

Традиційна біотехнологія заснована на використанні процесу ферментації.

Ферментація – отримання готових продуктів завдяки діяльності мікроорганізмів (бактерій, міцеліальних грибів, дріжджів, водоростей) або їхніх ферментів. Зараз за допомогою цього процесу можна отримувати кефір, хліб, вино та різні види сирів (рис. 2.45).



а б в г

Рисунок 2.45 – Використання мікроорганізмів: пивоваріння (а); хлібопечення (б); молочнокисле бродіння та виробництво сирів (в); виноробство (г)

Напрями розвитку сучасних біотехнологій

Цитотехнології – клітинні технології (наприклад, вирощування гібридом клітин, що утворюються в результаті злиття В-лімфоцитів і ракових клітин меланоми для отримання моноклональних антитіл; отримання дріжджів для лікування цукрового діабету.

Гістотехнології – тканинні технології (наприклад, вирощування шкіри, органів для трансплантації, вирощування клітинних культур на поживних середовищах для отримання рослин із заданими властивостями.

Ембріотехнології – зародкові технології (наприклад, пересаджування ембріональних стовбурових клітин пуповинної крові для лікування променевої хвороби чи репродуктивна технологія екстракорпорального запліднення).

Клітинна інженерія – метод конструювання клітин нового типу на основі їх культивування, гібридизації та реконструкції (рис. 2.46).

Генна інженерія – галузь молекулярної біології і генетики, завдянням якої є конструювання генетичних структур за заздалегідь наміченим планом, створення організмів із новою генетичною програмою (рис. 2.47).

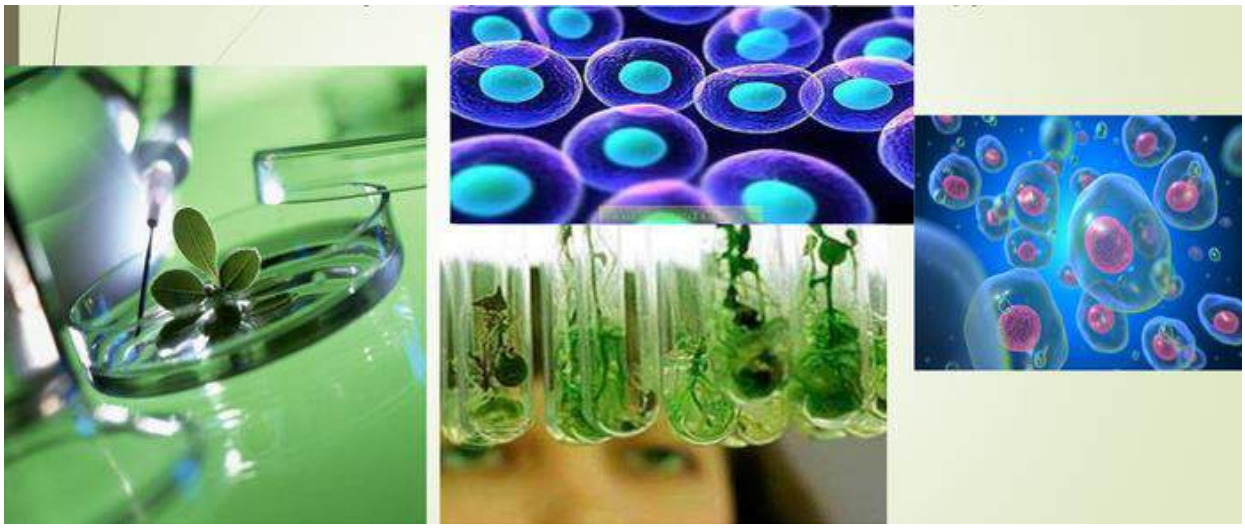


Рисунок 2.46 – Клітинна інженерія



Рисунок 2.47 – Генна інженерія

Використання біотехнологій

Біосенсори. Біотехнологія дозволяє створювати біосенсори, які можуть виявляти різні речовини у середовищі, включаючи бактерії, віруси, хімічні сполуки і білки. Це валиво для забезпечення контролю забруднення та діагностики хвороб.

Біопалива. Біопаливо або біологічне паливо – це органічні матеріали, такі як деревина, відходи та спирти, які використовують для виробництва енергії. Біопаливо – це поновлюване джерело енергії, на відміну від інших природних ресурсів, таких як нафта, вугілля і ядерне паливо. Офіційне визначення біопалива – будь яке паливо мінімум із 80-відсотковим вмістом (за об'ємом) матеріалів, отриманих від живих організмів, зібраних у межах 10 років перед виробництвом. Використання мікроорганізмів для виробництва біопалив, таких як біодизель і біоетанол, може допомогти зменшити залежність від вуглеводнів та впливати на зменшення викидів CO_2.

Тканинна інженерія. Ця технологія дозволяє вирощувати штучні тканини і органи в лабораторних умовах, що важливо для трансплантацій та розроблення нових методів лікування.

Заміна основних ресурсів на біопаливо

Однією з найважливіших проблем сучасності є заміна традиційних джерел енергії на біопаливо. Завдяки розкладанню природних ресурсів і збільшенню викидів парникових газів, світова спільнота змушена шукати сталі та екологічно безпечні альтернативи. Біопаливо, отримане з органічних матеріалів, є однією із найперспективніших альтернатив. Тому розглянемо важливість цього напряму, переваги та виклики використання біопалива, а також технології та можливості їх розвитку.

Біопаливо або біологічне паливо – це органічні матеріали, таки як деревина, відходи та спирти, які використовують для виробництва енергії. Це – відновлюване джерело енергії, на відміну від інших природних ресурсів, таких як нафта, вугілля та ядерне паливо. Офіційне визначення біопалива – будь-яке паливо, яке містить (за об'ємом) не менш ніж 80 % матеріалів, отриманих від живих організмів, зібраних у межах десяти років перед виробництвом.

Біопаливо поділяють на тверде, рідке і газоподібне (рис. 2.48).

Тверде біопаливо – це традиційні дрова (у вигляді відходів деревообробки) і паливні гранули (пресовані дрібні залишки деревообробки).









Рисунок 2.48 – Види біопалива

Рідке паливо – це спирти (метанол, етанол, бутанол), ефіри, біодизель та біомазут.

Газоподібне паливо – це різні газові суміші з чадним газом, метаном, воднем, які отримують внаслідок термічного розкладання сировини у присутності кисню (газифікація), без кисню (піроліз) або під час зброджування під впливом бактерій.

Існує й інше визначення біопалива.

Біопаливо – це паливо, яке виробляють із з органічних матеріалів або біомаси. Його можна отримати з рослин, тварин, мікроорганізмів і відходів від сільськогосподарської та лісової діяльності. Існує декілька основних видів біопалива, включаючи біодизель (метілові та етилові ефіри з рослинних олій), біоетанол (на основі цукровмісних та крохмаловмісних культур), тверде біопаливо (з побічної продукції рослинництва і лісового господарства), біогаз (відходи рослінництва і тваринництва).

Біодизель: це паливо, яке виготовляють із органічних олій та жирів, таких як рослинні олії, соняшникова олія, рапсова олія та інших жирових відходів. Біодизель можна використовувати у дизельних двигунах автомобілів і машин.

Біоетанол: це паливо, яке виробляється із вуглеводів, зазвичай, із кукурудзи, цукрової тростини, пшениці або целюлози. Біоетанол додають до бензину, щоб зменшити викиди вуглеводнів і покращити якість пального.

Біогаз: це газове паливо, яке виробляється з органічних відходів, таких як стічні води, органічне сміття та добрива. Біогаз можна використовувати для опалення, виробництва електроенергії та як пальне для автомобілів.

Види біопалива:

- тверде біопаливо: дрова, солома;
- рідке біопаливо: біометанол, біоетанол, біобутанол, диметиловий ефір, біодизель, біонафта, біопаливо другого покоління;
- газоподібне біопаливо: біоводень, біогаз, біопаливо третього покоління.

Проблеми із традиційними паливами

Вичерпність природних ресурсів: одні з основних джерел традиційних палив, такі як вугілля, нафта і природний газ, є вичерпними. Їх

видобуток обмежений, і ресурси поступово вичерпуються, що призводить до нестабільності постачання та підвищення цін.

Зміна клімату: збільшення викидів парникових газів з традиційних джерел енергії призводить до зміни клімату, що виявляється у зростанні середніх температур, погіршенні екстремальних погодних явищ і підтопленні прибережних територій.

Забруднення навколишнього середовища: використання традиційних палив призводить до викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Це відноситься до викидів CO_2, які сприяють глобальному потеплінню, а також до інших забруднюючих речовин, які шкодять здоров'ю людей та природі.

Геополітична нестабільність: багатство нафти і газу зробило країни-експортери цих ресурсів сильно залежними від світових ринків. Це може призвести до конфліктів і геополітичної нестабільності.

Переваги біопалива

1. Відновлюваність джерел виробництва: біопаливо виготовляють із відновлюваних джерел, таких як рослинні олії, цукрова тростина, кукурудза та інші біомасові матеріали. Це означає, що їх можна вирощувати і видобувати на постійній основі, не вичерпуючи природні ресурси.

2. Зменшення викидів парникових газів: використання біопалива призводить до менших викидів вуглецю (CO_2) порівняно із традиційними паливами. Оскільки рослини, які використовують для виробництва біопалива, поглинають CO_2 під час росту, то викиди CO_2 в атмосферу під час спалювання біопалива взагалі можуть бути нейтральними із погляду вуглецевого балансу.

3. Сприяння розвитку сільського господарства: вирощування біопаливних культур стимулює розвиток сільського господарства, створюючи попит на сільськогосподарські вироби та забезпечуючи нові можливості для фермерів і сільських громад.

4. Споживча незалежність: виробництво біопалива на місці дозволяє країнам зменшити свою залежність від імпорту нафти і газу, забезпечуючи енергетичну стійкість та незалежність.

Використання біопалива

Переваги: відновлюваність сировини, позитивний енергетичний баланс, закритий обіг CO_2, низька моторна емісія, відсутність вмісту сірки, відкриття нових ринків для агровиробництва (рис. 2.49).

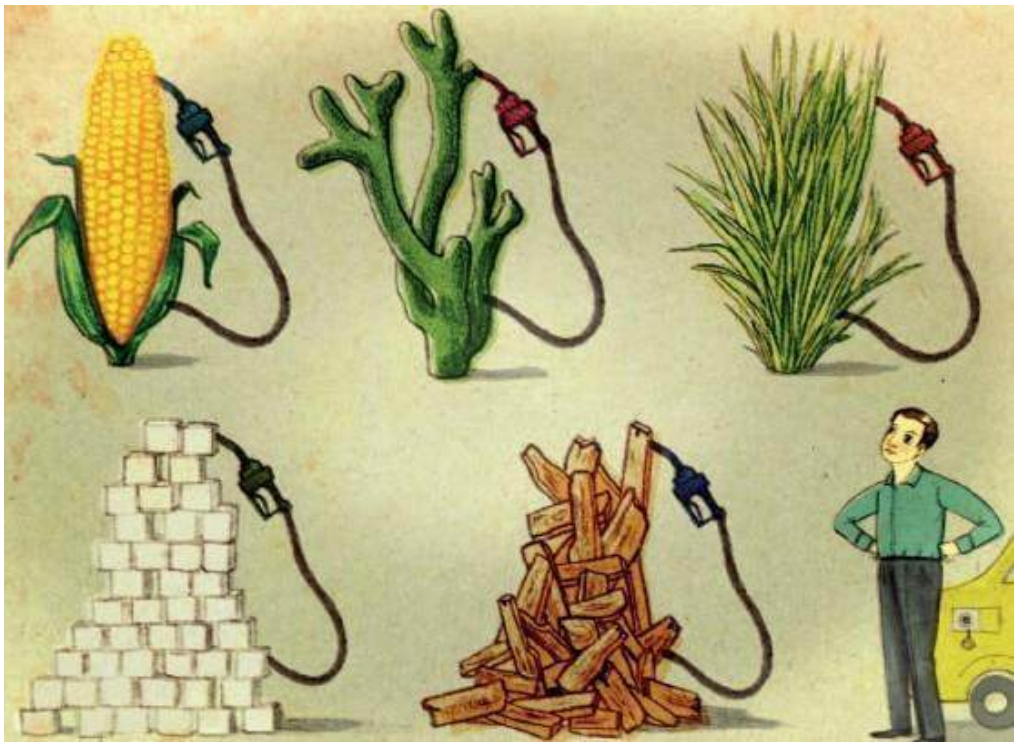








Рисунок 2.49 – Виробництво біопалива

Недоліки: підвищення вивільнення окису азоту, небезпека монокультури, висока потреба в субвенціях (дотаціях), невисокий виробничий потенціал, ріст цін на продукти харчування.

Використання біопалива у транспорті

Автомобілі: біопаливо можна використовувати в бензинових і дизельних двигунах. Біоетанол додається до бензину, замінюючи частину пального, тоді як біодизель можна використовувати в дизельних автомобілях. Це дозволяє зменшити викиди вуглеводнів і сприяє покращенню якості повітря в міських районах.

Авіація: деякі авіакомпанії вже використовують біопаливо для польотів. Біопаливо для авіації зазвичай виготовляють із олій і жирів, воно може допомогти зменшити викиди CO_2 в атмосферу і зменшити вплив авіації на зміну клімату.

Морський транспорт: біогаз і біодизель можна використовувати в суднах та інших морських транспортних засобах. Це сприяє зменшенню забруднення морів і океанів.

Громадський транспорт: біопаливо можна застосовувати в громадському транспорті – автобусах і трамваях. Це зменшує викиди вуглеводнів та інших забруднюючих речовин у міських середовищах.

Виклики та обмеження біопалива:

Проблема: вирощування біопаливних культур (кукурудзи або цукрової тростини) може конкурувати із вирощуванням продуктів харчування на обмежених сільськогосподарських земельних ресурсах.

Наслідки: це може призвести до підвищення цін на продукти харчування і обмеження доступу до них для деяких груп населення, особливо у бідних країнах.

Економічні аспекти та витрати на виробництво біопалива:

Проблема: виробництво біопалива може бути витратним та вимагати значних інвестицій у технології та інфраструктуру.

Наслідки: Високі витрати на виробництво біопалива можуть призвести до збільшення вартості біопалива. Це може обмежити його конкурентоспроможність порівняно з традиційними паливами.

Перспективи розвитку:

1. Збільшення виробництва з використанням відходів: розвиток технологій, які дозволяють виробляти біопаливо із відходів сільського господарства, продовольчих товарів та лісового господарства, стане

ключовим. Це допоможе зменшити конкуренцію з продуктами харчування та максимізувати використання ресурсів.

2. Розвиток біопалив на основі мікроорганізмів: біоінженерія та геномна модифікація можуть допомогти створити біопалива, використовуючи мікроорганізми, які більш ефективно перетворюють біомасу на паливо. Це може зменшити витрати та підвищити продуктивність.

3. Розвиток біогазу: біогаз може бути вироблений із органічних відходів та стічних вод. Розвиток інфраструктури для збору та використання біогазу в міських середовищах може стати важливим шляхом для використання біопалива.

4. Дослідження ефективних процесів виробництва: розвиток більш ефективних інженерних і технологічних процесів для виробництва біопалива допоможе зменшити витрати та підвищити якість продукту.

Запитання для самостійного контролю

1. Чим відрізняються високі технології від традиційних технологій?
2. Надайте характеристику цифровим технологіям.
3. Надайте характеристику та наведіть приклади інноваційних процесів мікротехнологій та мікроелектроніки.
4. Сформулюйте визначення соціальної технології.
5. Яка мета робототехніки? Надайте характеристику та наведіть приклади практичного застосування роботів.
6. Обгрунтуйте сутність штучного інтелекту і його застосування.
7. Чим відрізняється штучний інтелект від робототехніки?
8. Сутність технології "Розумний Дім".
9. Надайте характеристику та наведіть приклади розроблень у галузі нанотехнологій.
10. Обґрунтуйте сутність та практичне застосування 3D-технологій.
11. Що таке адитивні технології?
12. Що таке біотехнологія та біопаливо? Наведіть приклади її практичного застосування.
13. Із чим пов'язана заміна основних ресурсів на біопаливо?

Література: [7, 9, 11, 16, 21, 26, 34 – 36, 39 – 41, 43, 51, 53, 54, 56, 69, 71, 74, 77 – 79, 84, 89, 97, 104, 111, 122, 129, 130, 139, 143, 148, 149, 152, 156, 160].

Розділ 3. Значення науки у розвитку інноваційних технологій

3.1. Основні поняття та визначення в технології

Слово "технологія" грецьке; воно означає: техно – майстерність, мистецтво; логос – поняття, навчання.

У загальному випадку поняття "технологія" застосовують у науці, промисловості, мистецтві та інших галузях людської діяльності, і воно має ряд смислових навантажень. Це поняття означає, найперше, інтелектуальне перероблення технічно значущих якостей і здібностей. Загальним для технологій усіх видів є те, що вони є продуктом розумової діяльності людини. Насправді, це культурне поняття, що визначає його місце у природі, створює нові засоби пізнання, активно втручається у природні процеси. Такий розвиток визначає світогляд і саме розуміння сучасної людини та характеризується як технологічна культура.

Традиційно технологію пов'язують із винаходами та машинами. Однак соціолог Чарльз Перроу, який багато писав про вплив технології на організацію та суспільство, описує технологію як засіб перетворення сировини – будь-то люди, інформація або фізичні матеріали – на необхідні продукти та послуги. Люїс Дейвіс, який писав про проектування робіт, пропонує подібний більш широкий опис: "*Технологія* – це поєднання кваліфікаційних навичок, обладнання, інфраструктури, інструментів і відповідних технічних знань, необхідних для здійснення бажаних перетворень у матеріалах, інформації чи людях".

Сучасне виробництво, організоване з метою створення товарної продукції (виробів), охоплює як самі процеси перетворень (технології), так і пов'язані із ними технологічні системи. Розглядаючи поняття "технологія" пов'язаним із процесом створення (перетворення) або виробництва чого-небудь, відповідно до поставленої мети задоволення потреб, у нього вкладають, насамперед, науковий сенс. Тому *технологія* – це поняття наукове, що відображає виявлення закономірностей, із метою визначення та використання на практиці найбільш ефективних і економічних виробничих процесів. Виходячи із цього, *технологію* визначають як знання, які можна використовувати для виробництва товарів і послуг, економічних ресурсів, зокрема, знання того, як ефективно

виконати свої завдання та досягти намічених цілей. Отже, *технологія* – це процес послідовної зміни стану, властивостей, форми та розмірів предметів праці, здійснюваний у процесі виготовлення продукції [94], тобто це наука щодо методів і засобів виробництва, які застосовують у процесі виготовлення продукції [54].

Технології для суспільства мають велике значення, оскільки вони допомагають мінімізувати затрати часу та матеріальних ресурсів у виробництві. За допомогою нових технологій легше виконуються трудомісткі процеси, в яких можна замінити працю людини на високотехнологічний прилад.

Виробництво є основою економічного розвитку держави, добробуту і розвитку суспільства, оскільки на виробництві створюють матеріальні блага. Тому технологія – це наука щодо способів і процесів отримання та перероблення продуктів природи, сировини, матеріалів у предмети споживання і засоби виробництва.

Технологія виробництва – це наука щодо фізичних, хімічних та інших способів впливу на сировину, матеріали й напівфабрикати за допомогою відповідних знарядь виробництва для вироблення продукції із заданими властивостями і за найменших витрат часу та матеріальних ресурсів.

Спільність підходу до предмета дослідження в технології зумовило і розширення видів оброблюваних (переробних) середовищ, до яких стали зараховувати не тільки матеріальні ресурси (метал, хімічні речовини, рослинну продукцію, зокрема дерево, пластмаси, скло, мінеральну сировину, продукти перероблення сільськогосподарського виробництва), але й нематеріальні ресурси (інформацію, проектні та наукові розробки, мистецтво, законотворчість, управління, фінансові та страхові послуги тощо).

Тому на практиці під поняттям "технологія" також розуміють [69]:

- сукупність прийомів і способів отримання й обробки сировини, матеріалів, напівфабрикатів;
- операції, пов'язані з видобутком, обробкою, переробленням, виготовленням, транспортуванням, складанням, збереженням та ін.;
- опис зазначених процесів у вигляді технологічної документації (упровадження нових технологічних процесів, регламенту, технологічних карт, рецептів, інструкцій, графіків тощо);

- прийоми та способи отримання й опрацювання інформації в технічній, економічній, політичній, побутовій діяльності людини;
- сукупність цілеспрямованих інструментальних дій, фізичних, хімічних або біологічних процесів і засобів їхнього здійснення, організованих для досягнення поставленої мети.

Таким чином, під поняттям "технологія" в широкому напрямі розуміють сукупність прийомів і способів перероблення (обробки) різних середовищ (матеріальних і нематеріальних ресурсів: інформації, продукції інтелектуальної праці, законотворчості, управління, фінансових і страхових послуг, мистецтва, різноманітних видовищ тощо). За суттю, все, що створюється людством для його життєзабезпечення на Землі та в космосі, є продукцією технологій. Цю продукцію слід розглядати у двох сферах: у сфері матеріального виробництва – промисловість, сільське господарство, будівництво тощо, і соціальній сфері – освіта, культура і мистецтво, управління тощо.

Завданням технології є виявлення фізичних, хімічних, механічних, комерційних, соціальних, екологічних та інших закономірностей щодо природи перетворення оброблюваних середовищ із одного виду на інший, із метою визначення та використання в широкій практиці найбільш ефективних виробничих процесів [114].

Залежно від можливості використання продукту споживачем, розрізняють три їхні види: матеріальний, енергетичний та інтелектуальний.

Слід розрізняти технології продуктів, процесів та управління. Технології можна розглядати як товар, що продають споживачеві, та як чинник виробництва, тобто ресурс, який разом із працею і капіталом необхідно витратити, щоб виготовити товар або послугу.

Технологію можна розглядати як спосіб підвищення продуктивності основних чинників підвищення виробництва. Наприклад, нові методи управління (менеджменту) можуть підвищити продуктивність праці за незмінності всіх інших чинників виробництва.

Технології бувають трудомісткими, капіталомісткими, наукомісткими, ресурсомісткими, енергоємними, а також, навпаки, працезберігаючими, ресурсозберігаючими, енергозберігаючими.

Технології можна класифікувати із погляду новизни і розглядати унікальними, прогресивними, традиційними, морально застарілими. Однак саме поняття новизни відносне: для однієї країни технологія може бути морально застарілою, а для іншої – традиційною технологією.

Унікальні технології захищено законодавством, тому їх не можна використовувати конкурентам. Традиційні технології відображають середній рівень виробництва, досягнутий більшістю виробників цієї продукції. Технологія стає традиційною в результаті старіння, коли її замінює більш сучасна технологія.

Виходячи із цього технології розподіляють на:

- загальнодоступні технології;
- захищені юридично – це патентовані технології, для використання яких необхідна згода власників авторських прав;
- технології know-how (ноу-хау), відомі тим, хто їх використовує.

Крім того, технології можна розподілити за методологією, запропонованою Організацією Об'єднаних Націй (ООН):

- технологія в чистому вигляді, що охоплює методи й техніку виробництва товарів і послуг;
- утілена технологія, що охоплює машини, обладнання (технологічне), споруди, цілі виробничі системи та продукцію із високими техніко-економічними параметрами.

1822 р. академік Севергін В. М. виділив 10 розділів технології: метали, мінерали, дерево, горючі матеріали, поживні речовини, хімічні сполуки, обробка тварин і тканин, папір, знаряддя. За минулі майже 200 років технології зазнали значних змін: із простих технологій вони перетворилися на складний комплекс знань ноу-хау, здобутих на основі проведення дорогих досліджень.

Сучасні технології – складні, різноманітні об'єкти (системи). Для їхнього вивчення застосовують, передусім, принцип теорії угруповань, виділяючи суттєві ознаки, за якими здійснюють класифікацію технологій (табл. 3.1) [94]. Технології створюють людству умови для необхідних перетворень інформацій і речовини природи із одного виду в інший. Водночас нашаровуються технологічні, економічні, організаційні, соціологічні та інші проблеми, супутні застосуванню цієї технології для потреб суспільства, тобто створюють не технології, а технологічні системи.

Вибір технології – це дуже важлива проблема, особливо для країн типу розвитку, що наздоганяє, із недостатньо розвиненою економікою. Саме таким країнам потрібні більш високі технології, із метою прискореного розвитку. Водночас більш досконалі технології менш трудомісткі, їхнє застосування різко знижує зайнятість і збільшує безробіття.

Таблиця 3.1 – Відмінні (класифікаційні) ознаки технологій

Відмінні ознаки	Види технологій
1. Належність до галузі економіки	машинобудівні, металургійні, хімічні, інформаційні, освітні, фінансові, транспортні тощо
2. Процеси, що визначають їх сутність	лазерні, плазмові, електронно-променеві, імпульсні, інформаційні, юридичні, освітні тощо
3. Сфера застосування	наукові, освітні, виробничі
4. Рівень складності	прості, складні
5. Динаміка розвитку	прогресивні; ті, що розвиваються; усталені, застарілі
6. Потреба в ресурсах	капіталомісткі, енергоємні, наукомісткі
7. Рівень описання	аксіоматичні, професійні, ноу-хау
8. Якість перероблення середовищ	низького, середнього, високого рівня
9. Призначення	творчі, руйнівні, подвійного призначення
10. Пріоритет створення	первинні, конверсійні
11. Економічне оцінювання	екологічно чисті, що потребують засобів захисту навколишнього простору
12. Циклічність	дискретні, безперервні, замкнутого циклу (безвідхідні)

Зараз технології мають неоціненне значення, оскільки їм належить визначальна роль у забезпеченні якості та конкурентоспроможності продукції, що випускають на підприємствах України, вони є найважливішим чинником у розвитку суспільства. Здійснення глибоких якісних перетворень в економіці можливе лише на основі сучасних високоефективних технологій, коли нововведення стають неодмінною умовою. Тому для умов сучасного ринку характерно застосування технологій, які використовують фундаментальні дослідження й останні науково-технічні досягнення у процесах виробництва продукції, а також підтримання політики інноваційної активності. Це дозволяє нарощувати темпи технологічного розвитку суспільства на основі застосування наукомістких, ресурсозберігаючих, екологічно безпечних технологій.

Останнім часом відбулися значні зміни в стратегії науково-технічного розвитку. Ставлення до технології як до основ сучасної науково-технічної революції у виробництві й соціальній сфері характеризуються комплексністю та орієнтацією на кінцевий результат. Орієнтація відбувається не на виробництво масової продукції, а виробництво дрібних

серій великої та різноманітної номенклатури товарів і послуг високої якості, пристосованих до запитів конкретного споживача, що гарантують своєчасність постачань тощо. Це приводить до створення нових типів технологій, прискорення їхнього оновлення, удосконалення в управлінні та структурі виробництва, організації невеликих підприємств, які найкращим чином адаптуються на запити покупців (рис. 3.1).

Поняття "технологія", як це витікає із сказаного раніше, безпосередньо пов'язано із уявленням щодо процесів створення або виробництва чого-небудь відповідно до поставленої мети забезпечення потреби. У результаті дії технології відбувається якісна зміна або перетворення об'єкта шляхом надання йому інших, раніше відсутніх якостей (форми, складу, стану тощо).

Об'єктами технологій (які ще називають операндами) є матеріали, речовини, енергія, природні (включаючи біологічні) об'єкти, інформація, простір, час, частини Всесвіту [69, 79]. Розрізняють технології базові (або базисні) та часткові (або прикладні).

Під *базовими технологіями* розуміють принципові правила або прийоми застосування об'єктивних законів природи для вирішення поставленої практичної мети перетворення об'єктів матеріального світу.

Під *частковими технологіями* розуміють реалізацію базових технологій на основі конкретних прийомів та технічних рішень.

Технологія є прикладною наукою, яка займається аналізом і виявленням фізичних, хімічних, механічних та інформаційних закономірностей із метою використання їх для створення найбільш ефективних процесів виробництва нової продукції та поліпшення її якості, властивостей, економії ресурсів, поліпшення природозбереження та екології.

Залежно від галузі використання базових технологій, орієнтованих на родинні об'єкти перетворення та вияви у вигляді конкретного продукту, їх можна класифікувати за сферами застосування (за галузями виробництва). Наприклад, предметом технології машинобудування є вчення щодо виготовлення машин, відповідно до потреб споживача (рівень якості, кількість, термін постачання).

Інженерна справа (від фр. *ingenierie*, інженерія) – область технічної діяльності, що включає цілий ряд спеціалізованих областей і дисциплін, спрямована на практичне застосування наукових, економічних, соціальних і практичних знань із метою повернення природних ресурсів на користь людини.









Рисунок 3.1 – Сучасні технології виробництва наукомісткої продукції

Цілями інженерної діяльності є винахід, розроблення, створення, впровадження, ремонт, обслуговування та/або поліпшення техніки, матеріалів або процесів.

Інженерія тісно переплітається із наукою, спираючись на постулати фундаментальної науки і результати прикладних досліджень. У цьому сенсі воно є галуззю науково-технічної діяльності.

Галузі інженерії: системна інженерія, будівельна інженерія, генна інженерія, біомедична інженерія, програмна інженерія, промислова інженерія, інжиніринг у сфері ресурсозабезпечення тощо.

Необхідно зазначити, що у природі також спостерігають безліч процесів, які без утручання людини приводять до якісної зміни об'єктів. Якщо людина своїм утручанням уповільнює або прискорює такі процеси, із метою досягнення заздалегідь запланованого результату, то це вже не стихійний процес, а технологія. Вона призводить до появи продукту технології у вигляді матеріальних об'єктів, енергії, інформації, суспільно-політичних результатів.

3.2. Наукомісткість технологій

Значення науки у розвитку сучасного суспільного виробництва настільки зростає, що її все частіше вважають продуктивною силою. Це відбувається тоді, коли науку відокремлюють у самостійну сферу діяльності із особливим професійним складом працівників, із своєю специфічною матеріально-технічною базою та кінцевою продукцією.

Від науково-технічного потенціалу країни багато в чому залежить і науково-виробничий потенціал її національних фірм та підприємств, їхня спроможність забезпечувати високий рівень і темпи науково-технічного потенціалу, їхнє "виживання" в умовах конкурентної боротьби. Науково-технічний потенціал країни створюють як зусиллями національних науково-технічних організацій, так і використанням світових досягнень науки та техніки. У другій половині XX ст. сформувалася особлива категорія технологій, галузей промисловості та виробів, які дістали назву "наукомістких" або "високотехнологічних" (high technology), як їх зазвичай називають у закордонній літературі.

Як показано у п. 3.1, під *технологією* розуміють сукупність методів і прийомів, що застосовують на всіх стадіях розроблення та виготовлення певного виду виробів. *Наукомісткість* – це один із показни-

ків, що характеризує технологію та відображає ступінь її зв'язку із науковими дослідженнями і розробками (ДР). *Наукомісткою* називають технологію, яка містить обсяги ДР, що перевищують середнє значення цього показника технологій у певній галузі економіки, наприклад, в обробній або видобувній промисловості, сільському господарстві або сфері послуг [11, 25, 31, 34, 36, 39, 65, 72].

Галузь господарства, у якій переважне, ключове значення відіграють наукомісткі технології, належить до наукомістких галузей. У літературі найчастіше розглядаються наукомісткі технології в галузі обробної промисловості. Наукомісткість галузі, зазвичай, визначають як відношення витрат на ДР до обсягу збуту. Використовують й інший показник – відношення до обсягу збуту кількості вчених, інженерів і техніків, зайнятих у галузі. Нарешті, *наукомісткою продукцією* є вироби, у собівартості або в доданій вартості яких витрати на ДР вищі, ніж у середньому за виробами галузей цієї сфери господарства (рис. 3.2).

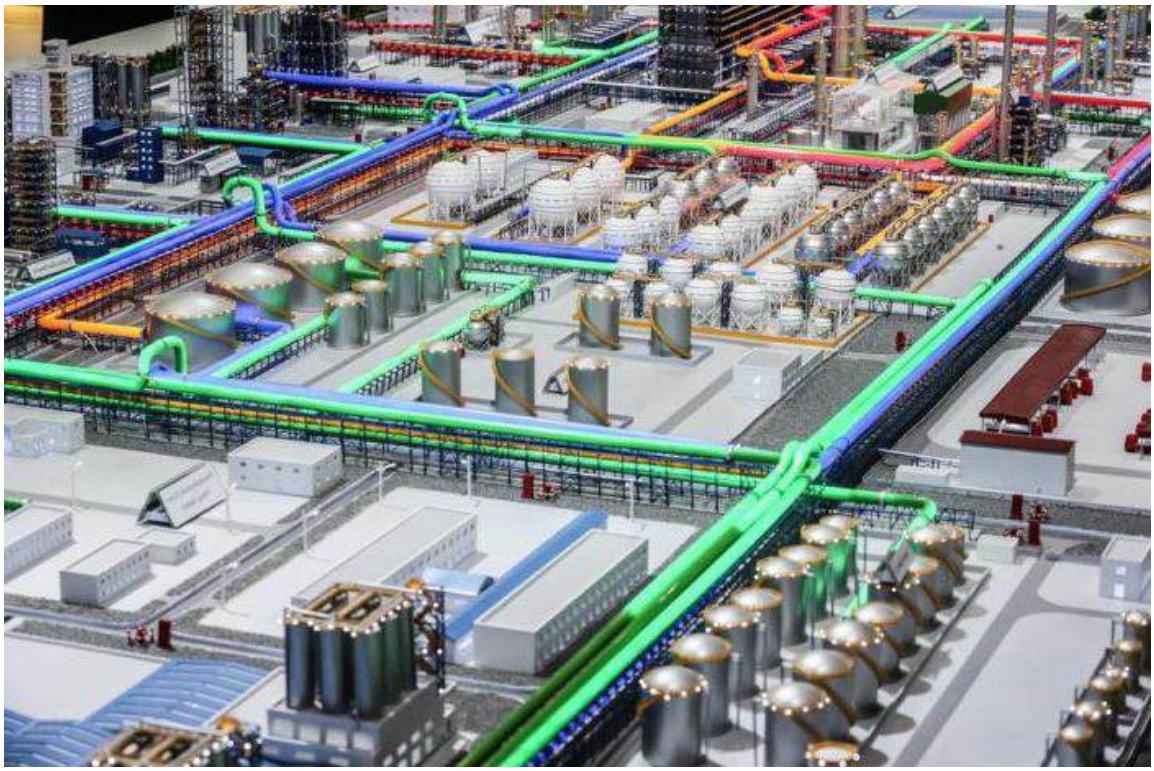


Рисунок 3.2 – Наукомісткий виробничий комплекс

Терміни і поняття, які стосуються наукомістких технологій, галузей і виробів, ще кінцеве не установлені, їх не стандартизовано, як не стандартизовано і методики визначення такого показника.

Новизну поняття *наукомісткість* пояснено тим, що сам процес інтеграції науки із виробництвом за історичними мірками почався не так давно, а проблема вартості науково-технічного прогресу стала актуальною лише десь в 70-х рр. XX ст., коли навіть найбагатшим країнам грошей на підтримання високого темпу науково-технічного розвитку, характерного для періоду Другої світової війни та наступних за нею двох десятиліть, стало не вистачати. Науково-технічний прогрес, а саме він забезпечував у XX ст. основну частку економічного зростання (близько 80 %) у промислово розвинених країнах, – справа дуже коштовна. Відповідно до закону В. Решера, навіть для того, щоб темп появи великих відкриттів і винаходів не уповільнювався, а був постійним, потрібно нарощувати обсяг ресурсів в сферу науки і техніки за експоненціальним законом. Але протягом тривалого часу цього не може дозволити собі жодне підприємство або галузь, жодна держава, та й усе міжнародне співтовариство.

У кожній галузі, відповідно до її особливостей, формують свій баланс витрат, що забезпечує стійке прибуткове господарювання. У складі зазначеного балансу є стаття витрат на ДР. Обсяг цих витрат залежить від обсягів виробництва, а, головне, від обсягів збуту продукції. Так, у середині 80-х рр. XX ст. в американській промисловості, що випускає комп'ютерну техніку, на науку витрачали 8 % від обсягу продажів, у верстатобудуванні – 3 %, у виробництві напівпровідникових приладів та інтегральних схем – 12 %, у паперовій промисловості – 1 %, у металургії – 0,5 %, а у фармацевтичній промисловості – 8 %.

Держава виділяє на підтримання науки певну частку свого валового виробничого продукту (ВВП). У розвинених країнах протягом останніх десятиліть XX ст. ця частка становила від 1 до 3 %, залежно від країни (табл. 3.2) [12]. Це означає, що для того щоб збільшити фінансування науки на 1 млрд потрібно, щоб національний ВВП збільшився приблизно на 40 млрд. Наприклад, у США 1964 р. витрати на науку становили 2,88 % від ВВП, 1978 р. вони зменшилися до 2,13 %, а в 1998 р. дорівнювали 2,67 %.

Таким чином, наукомісткість національної економіки загалом, окремої галузі господарства або групи галузей усередині сфери виробництва або сфери послуг може бути стабільним показником, що характеризує певні особливості об'єкта, до якого він належить.

Таблиця 3.2 – Витрати промислово розвинених країн на науку 2000 р.

Країни	Витрати на науку	
	% від ВВП	на душу населення (дол. США)
Велика Британія	1,83	397,7
Німеччина	2,29	527,4
Італія	1,05	218,2
Канада	1,61	406,8
Корея	2,52	365,1
США	2,84	842,3
Чехія	1,26	163,4
Франція	2,18	461,6
Швеція	3,70	773,8
Японія	3,06	731,3

На початку 1990-х рр. організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), куди входять всі передові промислово розвинені країни, зробила детальний аналіз прямих і непрямих витрат на ДР у 22 галузях промисловості 10 країн: США, Японії, Німеччини, Франції, Великої Британії, Канаді, Італії, Нідерландів, Данії та Австралії. У розрахунках враховували витрати на науку, чисельність учених, інженерів і техніків, обсяг доданої вартості, обсяги збуту продукції, частку кожного сектору в загальному обсязі виробництва 10 країн. Під час визначення непрямих витрат використовували апарат так званої виробничої функції. У кінцевому підсумку до наукомістких було зараховано чотири галузі: аерокосмічну; виробництво комп'ютерів і конторського обладнання; виробництво електронних засобів комунікацій; фармацевтичну промисловість.

Слід зазначити високі темпи зростання, які ці галузі демонстрували останніми десятиліттями минулого століття та і зараз продовжують демонструвати. У період із 1980 – 1997-го рр. середнєрічне зростання обсягів наукомісткого промислового виробництва у світі становило, із поправкою на інфляцію, 6,2 %, тоді як в інших обробних галузях воно становило 2,7 %. Особливо інтенсивно наукомісткі галузі розвивалися у 1994 – 1997-му рр. Річне зростання у ці роки перевищувало 11 %, тобто у чотири рази більше, ніж в інших галузях обробної промисловості. У 1980 рр. наукомістка продукція становила 7,1 % обсягу світового випуску продукції, а у 1997 р. частка наукомісткої продукції досягла 11,9 %.

Найбільш інтенсивно структурна перебудова промисловості на користь наукомістких галузей відбувалася у двох групах країн. Першу групу становили визнані технологічні лідери – США, Японія та Велика Британія, а другу – дві азіатські країни серед нових індустріальних – Південна Корея і Китай. За 1980-ті рр. частка наукомістких галузей у промисловому виробництві США і Великої Британії зросла з 9 до 11 %, а за 1990-ті рр. піднялася до 14,7 % в США та до 12 % у Великої Британії. В Японії в 1980 р. цей показник дорівнював 8 %, а в 1997 р. досяг 15,7 %. За той же період в Китаї він склав, відповідно, 7 % й 14,8 %, а Південна Корея до 1997 р. наздогнала в цьому відношенні Японію – 15,8 %. Це майже вдвічі більше, ніж у Франції чи Німеччині, де частка наукомістких галузей до кінця 1990-х рр. дорівнювала приблизно 8 % [12], але й 8 % – це достатньо високий показник. Таким чином, наукомісткі галузі дають вагомий внесок у промислове виробництво загалом, і внесок цей зростає, причому зростає випереджальними темпами щодо інших галузей промисловості.

Але швидке зростання та значні обсяги продажів – це не єдина характерна особливість наукомістких галузей економіки. До таких особливостей зараховують велику частку доданої вартості у продукції цих галузей, високий рівень заробітної плати працівників, значні обсяги експорту. Але найголовніше – це інноваційний потенціал, яким наукомісткі галузі володіють більшою мірою, ніж інші галузі господарства. Наукові дослідження і розробки (ДР) та інновації органічно пов'язані, саме інновації є метою дослідної діяльності наукомістких підприємств та організацій, що працюють в гостроконкурентному середовищі як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Високий рівень витрат на ДР – це головна зовнішня ознака наукомісткості галузі або окремого підприємства і запорука постійної та інтенсивної інноваційної активності.

Із інноваційним потенціалом наукомістких галузей пов'язано ще одну їхню особливість: наукомісткі технології є благодатним підґрунтям для виникнення та успішної діяльності малих і середніх компаній. Відомо, що такі фірми в економіці будь-якої країни відіграють величезну роль, на них працює чи не основна частина населення, вони забезпечують до 2/3 ВВП. У США на частку таких фірм припадає майже 50 % зайнятості у приватному секторі й половина національного внутрішнього продукту. Звичайно, далеко не всяке нововведення малим фірмам "до снаги". Вони не можуть, наприклад, створити космічний корабель,

інший який-небудь великий об'єкт, вести фундаментальні ДР у галузі фізики високих енергій. Але розробляти спеціалізовані обчислювальні пристрої на базі стандартних мікросхем, створювати різноманітне програмне забезпечення, комп'ютерні ігри, надавати різного роду послуги консультативного характеру, проводити лабораторні дослідження в галузі біотехнології та інші роботи малі фірми можуть навіть краще, ніж великі (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Інтернет працює у виробництві

У малих фірм незрівнянно більше гнучкості, готовності до ризику, ніж у великих корпорацій, що необхідно для динамічного оновлення виробництва. Загалом малий бізнес у всіх сучасних розвинених країнах є одним із основних "двигунів прогресу". Тому й об'єктом особливих турбот державної адміністрації всіх рівнів є надання малому бізнесу всілякої допомоги у вигляді податкових пільг, безвідсоткових, а то й безповоротних кредитів, технічних консультацій, курсів навчання маркетингу тощо.

Через усі розглянуті раніше особливості наукомісткі галузі стають лідерами в економіці розвинених країн, що є основним локомотивом економічного зростання та позитивної динаміки інших показників соціально-економічного розвитку. А оскільки, як зазначалося раніше, розвиток будь-якої галузі безпосередньо залежить від обсягів виробництва

та продажів, між основними виробниками наукомісткої продукції йде гостра конкурентна боротьба за ринки збуту як у масштабах окремих країн, так і на світовій арені, де наукомісткі галузі є провідною силою настільки актуальних сьогодні процесів економічної глобалізації.

3.3. Сучасний науково-технічний розвиток

Успіхи сучасної техніки, насамперед, залежні від розвитку науки. Технічні нововведення гуртуються на науково-технічних знаннях. Але не слід забувати, що й техніка ставить перед наукою все нові й нові завдання. Не випадково рівень розвитку сучасного суспільства визначають досягнення науки і техніки [39, 40, 54].

Із функціонально-виробничого погляду для нинішнього етапу науково-технічного прогресу характерні такі риси:

- науку перетворено на провідну галузь розвитку суспільного виробництва;
- якісно перетворено всі елементи продуктивних сил: виробник, знаряддя та предмет праці;
- інтенсифіковано виробництво, завдяки використанню нових, більш ефективних видів сировини та способів її обробки;
- знижено трудомісткість шляхом автоматизації та комп'ютеризації, підвищення ролі інформації тощо.

Із соціального погляду сучасний науково-технічний розвиток викликає потребу в людях із високим рівнем загальної та спеціальної освіти, у координації зусиль учених на міжнародному рівні. Сьогодні витрати на наукові дослідження настільки великі, що далеко не всі можуть дозволити собі розкіш вести їх поодинці. До того ж такі дослідження часто виявляються безглуздими, тому що їхні результати дуже швидко масово тиражуються, і вони не слугують для авторів довгостроковим джерелом надприбутків. Однак автоматизація та кібернетизація звільнюють і час працівників, і саму робочу силу. Виникає новий вид виробництва – індустрія дозвілля.

Із суспільно-функціонального погляду сучасний етап науково-технічного прогресу означає створення нової бази виробництва (нових технологій), хоча систему продуктивних сил як і раніше становлять "людина – техніка – навколишнє середовище" (рис. 3.4).









Рисунок 3.4 – Створення сучасної техніки

Основним призначенням прикладних наук є дослідження дійсності із метою застосування результатів цих досліджень у різноманітних сферах практичної діяльності людини за допомогою технологій. Технологія – це сутність застосування наукових знань на практиці, із метою виробництва предметів споживання, зміни, удосконалення умов життя та його контролювання.

Необхідно уявляти різницю між поняттями "технологія" та "технологічна система". *Технологія* – це результат розумової діяльності у сфері інформації, а *технологічна система* – це результат діяльності у сфері матеріальних об'єктів (у сфері маси й енергії). Якщо *елементарна технологічна система* ґрунтується на технологічних операціях (прийомах, способах, методах), то *технологічна система виготовлення товару* (система більш високого рівня) ґрунтується вже на різних, але взаємопов'язаних технологічних процесах (сукупності взаємопов'язаних елементарних технологічних систем). Розробник нової технології працює у сфері абстракції, хоча він і пов'язаний із діяльністю в матеріальній сфері. Розробник технологічної системи має розробити чітку однозначну основу для виробництва конкретного товару.

Технологія детермінує розвиток техніки, є провідним аспектом у цьому процесі. Функціонування техніки приводить до раніше намічених змін у технологічному розвитку. Технологію тісно пов'язано із іншими науками. Вона об'єднує математику, фізику, хімію, біологію, техніку, економіку, політику, управління тощо. Технологія ґрунтується на об'єктивних законах, розвивається адекватно природі. Можна виділити два основні напрями її розвитку: проникнення у глибину матерії (нанотехнології) та вихід на різні рівні управління виробничими системами, альянсами, державами. Нові технології, розроблені в результаті використання досягнень фундаментальних наук – фізики, хімії, біології (наукомісткі технології), допомагають розвивати нове високоефективне технологічне оснащення із новими функціями. Техніка допомагає розвивати науку, а наука – розробляти нові наукомісткі ефективні технології. Таким чином, технологія детермінує розвиток техніки, із одного боку, а функціонування техніки, із іншого боку – викликає заздалегідь намічені зміни в технологічному розвитку.

Принципово нова техніка – це техніка, у якій для створення товару із предметів праці використовують новітні досягнення науки, фізико-технічні, хімічні, біологічні та інші методи, які раніше не використову-

вали. Переважно, така техніка значно підвищує продуктивність праці й часто її використовують у процесі проведення наукових досліджень, вона є фундаментом для нових наукових досягнень і появи нових, більш ефективних технологій.

Розвиток технології як науки розподіляють на *чотири етапи*.

На *ранньому етапі* свого розвитку поняття сутності технології можна подати описом технологічних операцій без чіткого обґрунтування вибору того чи того способу їхньої реалізації. Наука на цьому етапі мала описовий характер. Вибір технологічних операцій та їхньої послідовності здійснювали тільки на основі порівняння різних варіантів.

На наступному етапі, крім опису методів і технологічних прийомів, почали використовувати спроби аналізу фізико-хімічних явищ, що відбуваються, та обґрунтування причин, які визначають вибір технологічного прийому. Наука зробила якісний стрибок. Вибір технологічних процесів та операцій пояснювався на основі якісних аналізів продукції, але без достатнього кількісного обґрунтування визначених результатів.

Наступний етап характеризується більш чітким кількісним обґрунтуванням вибору технологічних схем, методів і режимів обробки матеріалів (сировини, напівфабрикатів). На цьому етапі технологія ґрунтувалася на науковому вченні щодо єдності процесів, загальних для багатьох технологічних прийомів у різних галузях промисловості, виникла можливість розраховувати розміри, продуктивність та інші характеристики обладнання. Із огляду на суперечливість вимог до технологічного обладнання за споживаною енергією, його вартістю та продуктивністю, переважний варіант вибирався на основі практичного досвіду.

На сучасному етапі розвитку технологія як наука використовує всі сучасні підходи: формалізовані закономірності процесів, що відбуваються, і явищ, методи математичного моделювання, оптимізації тощо. Це дозволяє знайти таке поєднання технологічних рішень, що забезпечує здобуття готового продукту заданої якості із найменшими витратами, оскільки, спираючись на методи математичного моделювання і статистики, забезпечено вибір оптимального, найкращого варіанта умов функціонування технологічної системи (операції, дільниці, технологічної лінії, цеху, підприємства).

Народження нових технологій завжди мало революційний характер, але, з іншого боку, технологічні революції не знищували класичних традицій. Кожна попередня технологія створювала певну матеріальну

та культурну базу, необхідну для появи наступної. Кожна зміна поколінь засобів інформаційної техніки та технології потребує перенавчання і радикальної перебудови інженерного мислення фахівців, зміни надзвичайно дорогого технологічного обладнання та створення все більш масової обчислювальної техніки. Це встановлення постійних еволюційних темпів має достатньо загальний характер, тим більше, що передова галузь техніки та технології визначає характерний ритм часу технічного розвитку загалом.

Інформаційна технологія має інтегрувальну властивість відносно як до наукових знань загалом, так і до всіх інших технологій. Вона є найважливішим засобом реалізації так званого формального синтезу знань. В інформаційних системах на комп'ютерній основі відбувається своєрідний формальний синтез різнорідних знань. Пам'ять комп'ютера в таких системах є як би енциклопедією, яка увібрала в себе знання із різних галузей. Ці знання тут зберігають й обмінюють через їхні формалізації. Розширення можливостей програмування якісно відмінних знань дозволяє очікувати в найближчій перспективі суттєву раціоналізацію та автоматизацію наукової діяльності. Разом із тим упровадження науки як фундаментальної основи в сучасні технології потребує такого обсягу та якості розрахунково-обчислювальної діяльності людини, які можна здійснити тільки сучасними комп'ютерами (рис. 3.5).

Революційна форма НТП означає якісний стрибок, перехід до нового типу засобів праці, вона ґрунтується на нових відкриттях науки й, таким чином, використанні у виробництві якісно нових науково-технічних принципів. Революційна форма НТП – це науково-технічна революція (НТР), обумовлена потребами суспільства і рівнем розвитку продуктивних сил машинного виробництва. Так, механічна обробка металу різанням відтісняється методами точного лиття, тиску, порошкової, плазмової та лазерної технологій, термічного зміцнення. Приклади революційної форми НТП: перехід від мартенівського до конвертерного методу виплавляння сталі, використання енергії атомного ядра, створення штучних алмазів тощо. Подібні технічні зрушення потребують кардинальної заміни виробничого обладнання та матеріалів, переходу до нових технологій і форм організації виробництва. НТР – технологічна революція – це ривок у розвитку технології перероблення та перетворення інформації, енергії та речовин, що ґрунтується на освоєнні нових структурних рівнів організації матерії, форм її руху.



Рисунок 3.5 – Інформаційні технології

Серед базових технологій виділяють фізичні, хімічні та біологічні. У ході наукового прогресу посилюють взаємозв'язок наукового, технічного й технологічного процесів.

По-перше, науково-технічна революція характеризується глибоким процесом інтеграції науки та виробництва, до того ж такої інтеграції, за якої виробництво поступово перетворюється мовби на технологічний цех науки. Формується єдиний потік – від наукової ідеї через науково-технічні розробки та дослідні зразки до нових технологій і масового виробництва. Усюди відбувається інноваційний процес, виникнення нового та його швидке просування у практику використання. Значно посилюють процес оновлення та виробничого обладнання. Нові технології й нові вироби стають утіленням усе більш сучасних досягнень науки та техніки. Це приводить до кардинальних змін у чинниках і джерелах економічного зростання, у структурі економіки та її динамізмі. Коли говорять щодо науково-технічної революції, то насамперед, мають на увазі саме процес інтеграції науки та виробництва. Однак було б неправильно все зводити тільки до цієї, лише першої складової частини, сучасної НТР.

По-друге, під поняттям "науково-технічна революція" слід розуміти революцію в підготовці кадрів та у всій системі освіти. Нова техніка та технології потребують нового працівника – більш культурного й освіченого, який гнучко пристосовується до технічних нововведень, високо дисциплінованого, який має до того ж навички в колективній роботі, що є характерною рисою нових технологічних систем.

По-третє, найважливішою складовою частиною НТР є справжня революція в організації виробництва та праці в системі управління. Новій техніці й технології відповідає і нова організація виробництва та праці. Адже сучасні технологічні системи, зазвичай, гуртуються на взаємопов'язаному ланцюжку обладнання, на якому працює та яке обслуговує достатньо різнобічний колектив. У зв'язку із цим ставлять нові вимоги до організації колективної праці. Оскільки процеси дослідження, конструювання, проектування та виробництва нерозривно пов'язані, переплітаються та взаємно проникають один в одного, перед керівником стоїть завдання: об'єднати воєдино всі ці етапи. Складність виробництва в сучасних умовах багаторазово зростає. Тому щоб відповідати йому, саме управління переходить на наукову основу й на нову технічну базу у вигляді сучасної електронно-обчислювальної, комунікаційної та організаційної техніки.

Науково-технічна революція означає стрибок у розвитку продуктивних сил суспільства, перехід їх на якісно новий стан на основі докорінних зрушень в системі наукових знань.

Новим революційним технологічним системам, які приходять на зміну наявним, багато в чому некомплексним та неавтоматизованим технологіям, притаманні нові риси, викликані сучасним етапом НТР. Прогрес іде в напрямі виникнення малоопераційних технологій, коли на основі використання нових наукових принципів вдається створити необхідний виріб за значно меншої, ніж раніше, кількості операцій. На місце багатьох операцій різання в машинобудуванні приходять малоопераційні процеси деформації металу. Завдяки новим каталізаторам, значно скорочують кількість стадій у багатьох хімічних виробництвах. Так, наприклад, у роторно-конвеєрних лініях об'єднують операції обробки та транспортування виробів тощо.

Завдяки управлінню з використанням комп'ютерів, нові технології стають гнучкими, виникають гнучкі виробничі системи, що дозволяють на одному технологічному ланцюжку обладнання виготовляти продукцію з різними параметрами. Це значно підвищує ефективність продукції, що випускають, приводить до її більшої різноманітності та пристосування виробництва до запитів споживача.

Ще одна важлива властивість сучасних технологій – це їхня маловідхідність та безвідхідність, що важливо як для зростання ефективності виробництва, так і для збереження навколишнього середовища.

В автоматизованій системі машин поруч із трьома класичними елементами (двигуном, передавальним механізмом і робочою машиною), які на основі електронно-інформаційної техніки докорінно змінюються, виникає четвертий – управляючий та контролюючий пристрій, який звільняє людину від безпосереднього контакту тепер уже не тільки зі знаряддями виробництва, але й із самою робочою машиною. Це новий якісний стрибок у розвитку виробництва, підвищенні продуктивності праці. Зараз виробничі параметри розширюють далеко за межі не тільки фізичних, але й розумових можливостей окремої людини.

Комп'ютеризація докорінно змінює інформаційні функції, перетворює інформатику на новий ресурс та елемент технологічного процесу, на один із найважливіших чинників підвищення продуктивності праці. Її широко впроваджують у невиробничу сферу, вносять радикальні зміни в управління суспільними процесами.

Корінні зрушення в характері предметів праці пов'язано, найперше, із досягненнями хімії та фізики твердого тіла, а також біології. Створюють величезну кількість штучних і синтетичних матеріалів із найрізноманітнішими властивостями, включаючи чисті й надчисті матеріали, напівпровідники, білкові сполуки. Бурхливо розвивається виробництво композиційних матеріалів. Небачені раніше можливості в забезпеченні суспільства сільськогосподарською сировиною та продуктами харчування відкривають біотехнологія та генна інженерія.

Основним напрямом НТР у галузі технології є перехід від механічної обробки матеріалів до використання форм руху матерії на молекулярному, атомному та субатомному рівнях, завдяки чому змінюється сама структура речовини. Ідеться про такі технології, як хімічна, лазерна, нанотехнологія, пряме перетворення теплової енергії на електричну, біотехнологія та генна інженерія.

Науково-технічні досягнення якісно змінюють продуктивні сили лише в тому разі, коли їх матеріалізують у принципово нових технологічних процесах. А вони не можуть з'явитися без відповідних змін у засобах та предметах праці, енергетичній базі виробництва.

Важлива особливість науково-технічної революції в тому, що вона приводить до зміни положення людини в системі виробництва, ставить до неї якісно нові, більш високі вимоги. Працівник, який колись був безпосередньо включений у процес виробництва, нерідко простим придатком машини, тепер змінює свої функції контакту з виробництвом, виконуючи функції контролера й регулювальника. Але це вже працівник нового типу – за рівнем освіти, професійними навичками, ставленню до справи.

Серед соціально-економічних завдань суспільства важливе місце посідає об'єднання досягнень науково-технічної революції із промисловим виробництвом. Спостерігають швидке впровадження досягнень науково-технічної революції, що впливає на всі галузі суспільства, а саме на: інтенсифікацію та підвищення ефективності суспільного виробництва, розширення обсягу та поліпшення якості продукції, на обсяг економічного зростання, оздоровлення умов і зміну праці робітників, розвиток галузевих суміжних виробництв, а також умов життя, ідеологію, економіку, культуру, мораль і побутові умови життя.

Науково-технічна революція є якісним стрибком у вивченні законів природи та їхнього використання. Цей стрибок має тісний зв'язок із

перетворенням науки на величезну високоефективну виробничу силу суспільства, яка насамперед спрямовує швидкий розвиток галузевих наук і впровадження їхніх досягнень у суспільне виробництво.

Науково-технічна революція досягла широкого розмаху починаючи із середини XX-го ст. і відрізняється якісно новим станом техніки, докорінно змінила матеріальну основу, спрямовану на збільшення продуктивності праці й підвищення ефективності суспільного виробництва та духовний стан суспільства. Її головні риси різноманітні: найважливіші із них спрямовано на відкриття нових видів і джерел енергії (атомної, термоядерної), автоматизацію та тісно пов'язану із нею кібернетизацію виробництва, широке використання в управлінні виробництвом і науці комп'ютерної техніки, створення нових предметів праці із наперед спрямованими властивостями, упровадження нових методів виробництва та технологій, проникнення науки в мікро- та макроструктуру найпростіших частин матерії та в космічний простір. Вона має глобальні властивості, привертає у свою галузь усі верстви суспільства, а також її використання дуже впливає на соціально-економічні наслідки розвитку суспільства.

Для XX-го ст. властиво величезне прискорення наукових знань і впровадження їх у техніку та виробництво. Наприклад, якщо на початку XX ст. фундаментальні дослідження науки впроваджували в життя через 20 років, то зараз їх упроваджують у практику виробництва через 3 – 4 роки. Уважають, що наука дає суспільству підвищення національного прибутку до 50 %. Раніше впровадження технічних новинок сприяло підвищенню продуктивності праці на 5 – 20 %, зараз від нього отримують на 50 – 100 % більше, а також на 60 – 80 % прибутку від продуктивності праці.

Найважливіші напрями розвитку науково-технічної революції на сучасному етапі можна сформулювати так:

- величезне зростання енергетичної бази суспільства на основі прискореного розвитку атомної енергетики, а також тепло- та гідроенергетики;
- усіляке удосконалення знарядь праці на основі комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів;
- упровадження нових виробництв і, насамперед, полімерних матеріалів, а також удосконалення традиційних матеріалів;

- широке використання принципово нових технологій (хімічної, електрохімічної, лазерної тощо);
- перетворення сільського господарства на індустріальне виробництво;
- швидке впровадження сучасних засобів опрацювання інформації за допомогою електронно-обчислювальних машин;
- прискорення впровадження сучасних досягнень науки й техніки в галузі транспорту та невиробничій сфері.

На сучасному етапі особливе значення мають такі прогресивні напрями науки й техніки, як удосконалення технологічних процесів у різних галузях виробництва, механізація та автоматизація виробничих процесів, хімізація виробництва, удосконалення виробництва в будівельній індустрії, машинобудуванні тощо.

Перехід до нових технологій у виробництві, по-перше, забезпечує підвищення продуктивності праці та якості продукції більшою мірою, ніж удосконалення техніки в умовах чинної технології. По-друге, дозволяє комплексно використовувати сировину за значно менших збитках на відходи. По-третє, виникає можливість відмовитися від громіздкого традиційного обладнання та ефективно використовувати капітальні вкладення. Досягнення в галузі вдосконалення технології можна демонструвати на прикладах прискореного розвитку атомної енергетики, використання в легкій промисловості нетканих матеріалів, клейових методів з'єднання деталей взуття та одягу, перетворення будівництва на процес кантування будівель і споруд із конструкцій деталей і вузлів промислового виготовлення з високим рівнем виробничої готовності. Виникли тенденції, які використовують методи хімічного перетворення речовин, внутрішньо-ядерної енергії, використання біологічних процесів у виробництві, створення безмашинних генераторів. Величезне значення в сучасній науково-технічної революції належить автоматизації та хімізації. Сучасний переворот у засобах виробництва є перехід від техніки, заснованої на використанні однієї механічної форми руху, до техніки, заснованої на комплексному використанні різноманітних складних форм руху, із використанням фізичних, хімічних і біологічних процесів. Це перехід від системи простих машин, що працюють, до автоматизованої системи із електронною обчислювальною технікою. Повний облік такого процесу враховує кібернетизація та інтелектуалізація виробництва.

Хімізація є переходом від аналізу та вивчення структури матерії й речовини, природи реакцій і процесів, які виникають у навколишньому світі, до цілком спрямованого впливу на них, синтезу речовин із заздалегідь заданими властивостями. Хімізацію спрямовано на підвищення ефективності суспільного виробництва, вона значно розширює сировинну базу господарства, дозволяє інтенсифікувати виробничі процеси, розширювати асортимент і покращувати якість продукції, упроваджувати у виробництво нові матеріали з наперед заданими властивостями.

Незважаючи на те, що з кожним роком виникає все більше полімерів та інших хімічних матеріалів, метали, як і раніше, залишаються основною матеріальною базою технічного прогресу. Перевагою металів і сплавів є те, що за цілеспрямованою зміною їхнього хімічного складу та внутрішньої будови можливе створення різноманітних конструктивних матеріалів із новими властивостями, які дозволяють їх використання в різних галузях господарства.

Сучасні досягнення науки про метали значною мірою належать видатним вітчизняним ученим: Амосову П. П., Байкову А. А., Курнакову М. Є., Павлову М. А., Чернову Д. К. та ін.

В оцінюванні технологічних процесів різних галузей господарства використовують найбільш прогресивні техніко-економічні показники, які дають оцінку рівня та ефективності технологічних процесів. У металургії у процесі виробництва агломерату використовують оцінювання його кількості з кожного квадратного метра площі агломераційних машин, собівартість, якість, а у процесі виробництва чавуну – кількість чавуну, отриманого з одного кубічного метра корисного об'єму доменної печі, собівартість, використання коксу, швидкість плавки. У процесі виробництва сталі використовують оцінювання через кількість сталі, отриманої із одного квадратного метра поду печі, собівартість сталі, її марку тощо.

Значення важливих галузей у розвитку господарства визначають у властивій їм індивідуальності у складному механізмі суспільного господарства. Наприклад, чорна металургія є основою функціонування суспільного господарства та обороноздатності країни, тому метал потрібен для спорудження заводів, фабрик, механізмів, машин, літаків, ракет, споруд побутового та промислового призначення. Машинобудування охоплює практично всю обробку металів, напівфабрикатів, заготовок деталей, а також механізми, машини, прилади, інструменти, верстати, сільськогосподарські машини, автомобілі тощо.

Хімічна промисловість проникає нині практично в усі галузі громадського господарства тому, що дуже багато полімерів хімічного виробництва є замінниками металів, які не поступаються їм за службовими властивостями. Продукцію хімічної промисловості широко використовують у сільському господарстві під час виробництва добрив, знищення бур'янів і шкідників, комах, для прискорення росту й захисту рослин і тварин. Вироби зі штучного каучуку широко використовують в автомобільній, тракторній, авіаційної, машинобудівної та в інших галузях. Різні кислоти необхідні для виготовлення хімічних препаратів та створення полімерних матеріалів, штучних волокон і тканин, які мають значне поширення в техніці й побуті. Вироби з полімерних смол і пластмас також мають широке поширення в побуті й техніці.

Будівельна промисловість зараз посідає одне із провідних місць у громадському господарстві. Виготовляють величезну кількість цементу й цегли, бетону та залізобетону для будівництва споруд промислового і побутового призначення. Величезні будівлі електростанцій, заводів, фабрик, а також житлове будівництво перетворили будівельну галузь на одну з найбільш розвинених галузей суспільного господарства, у якій зібрано потужні деревообробні, цементні, цегельні, шиферні, смолопереробні та інші виробництва. Цілорічне будівництво породило домобудівні комбінати, які індустріальними методами будують житлові квартири, окремі дільниці й цехи промислових будівель і споруд, що складають на майданчиках складально-зварювальними методами.

Виключне значення в підвищенні ефективності виробництва належить стандартизації якості продукції, яка є сукупністю властивостей, що задовольняють певні потреби відповідно до призначення продукції. Якість продукції визначають за її властивостями, хімічним складом, розмірами та іншими параметрами, які визначають із урахуванням надійності та вартості. Оцінювання та гарантія якості виробів можлива тільки в разі, коли їхні якісні характеристики чітко визначено й належним чином узаконено. Такі документи мають назву стандартів.

Найважливіша *властивість стандартизації* – це її активна роль в управлінні громадським господарством. Цього досягають такими способами: усі роботи із стандартизації виконують планово; стандарти розроблено в інтересах розвитку громадського господарства із урахуванням і на основі найважливіших досягнень та перспектив розвитку науки й техніки; стандарти є загальнодержавними обов'язковими доку-

ментами, і за їхнім виконанням постійно наглядають. У зв'язку із цим стандартизація виконує функції підвищення ефективності виробництва, управління якістю продукції та зниження її собівартості.

Методами підвищення ефективності стандартизації є *уніфікація, типізація, агрегатування.* Стандартизацію спрямовано на розроблення таких обов'язкових правил, норм і вимог, які мають забезпечити найкращу якість продукції, підвищення продуктивності праці, економії матеріалів, енергії, часу, а також гарантування безпеки умов праці. Стандартизація передбачає встановлення одиниць фізичних величин, термінів і позначень, вимог до продукції та виробничого процесу, а також вимог, які забезпечують зберігання матеріальних цінностей.

Попереджувальну стандартизацію здійснюють із урахуванням прогресивного розвитку показників якості об'єктів стандартизації. У попереджувальних стандартах передбачають кілька підвищених, найбільш прогресивних показників якості, їхній досягнутий рівень і визначають періоди введення цих показників у дію. Періоди визначають обґрунтовано із урахуванням упровадження у виробництво сировини, матеріалів, комплектувальних виробів та обладнання, а також вирішення наукових, технічних та інших супутніх завдань. Попереджувальна стандартизація стимулює діяльність підприємств у підвищенні науково-технічного прогресу.

Уніфікація є різноманітністю стандартизації та приводить до раціонального зменшення типів, видів і розмірів об'єктів однакового призначення.

У минулому найбільшу увагу приділяли індивідуальному проектуванню, де заново конструювали всі механізми, вузли та деталі, включаючи й дуже поширені. До того ж достатньо мало враховували досвід проектування та експлуатації виробів такого самого призначення. Цей підхід до проектування супроводжувався значними витратами часу й непродуктивним використанням проектувальників високої кваліфікації. Крім того, значна частина деталей і вузлів у заново створюваних об'єктах супроводжували підвищенням ціни й часу на їхнє виготовлення. До того ж різні машини, прилади, обладнання мають велику кількість деталей, вузлів, механізмів аналогічного призначення, наприклад, підшипники використовують для здійснення обертового руху, зубчасті передачі працюють для перетворення кутових прискорень та обертальних моментів у приводах машин і, незалежно від видів, мають чи-

мало спільного у їхніх конструкціях (рис. 3.6). Це дозволяє створювати типові деталі, вузли й механізми, які без будь-яких переробок можна використовувати в різноманітних готових виробах. Такі типові вироби широкого використання, переважно, виготовляють на спеціалізованих підприємствах, що значно прискорює й покращує проектування та виготовлення нових об'єктів. Уніфікацію здійснюють на основі аналізу і вивчення конструктивних варіантів та особливостей роботи виробів аналогічного призначення (муфт, підшипників тощо).



Рисунок 3.6 – Зубчаста передача

Шляхом порівняння різних варіантів створюють один або кілька типів одноманітних виробів і виявляють ряд розмірів, наприклад, діаметр підшипника кочення, який повністю відповідає вимогам промисловості. Якщо до уніфікації належать вироби масового призначення (підшипники), то її завершують створенням стандартів і навіть спеціалізованих виробництв. Уніфікація може мати самостійне призначення, якщо уніфікують вироби, що мають обмежене використання.

Агрегатування – це метод створення нових машин, приладів та обладнання шляхом компонування стандартних та уніфікованих деталей, вузлів і механізмів, що мають однакові геометричні розміри та призначення. Уніфікацію й агрегатування все більше використовують у машинобудуванні та приладобудуванні, оскільки вони значно скорочують трудомісткість проектування, виготовлення й ремонт виробів, розширюють можливості стандартизації, підвищують рівень взаємозамінності продукції та спеціалізації підприємства, механізації й автоматизації виробничих процесів, підвищують якість продукції, а також полегшують перебудову виробництва в перехідний період підприємства для виготовлення продукції.

Стандартизація великих міжгалузевих систем передбачає створення систем взаємопов'язаних стандартів, які забезпечують найбільшу ефективність виконання робіт загальнодержавного призначення.

Завжди найбільшу увагу у промисловості приділяли інтенсифікації виробництва й підвищенню його ефективності. Відомі два напрями підвищення суспільного виробництва – екстенсивний та інтенсивний. За екстенсивного напряму економічне зростання забезпечують шляхом підвищення кількості працівників, залучення у виробничий процес додаткових матеріальних ресурсів і капітальних укладень, збільшення парку обладнання на тій самій технологічній базі. Інтенсивний шлях забезпечує економічне зростання шляхом підвищення продуктивності праці працівників, кращого використання матеріальних ресурсів та обладнання, підвищення технічного рівня виробництва. Це дозволяє досягти більш високих показників за найменших витрат.

Вирішальним чинником підвищення ефективності виробництва є підвищення продуктивності праці, для чого в усіх галузях суспільного господарства необхідне підвищення технічного рівня праці; широке впровадження механізації й автоматизації; зменшення кількості працівників, зайнятих ручною працею на підсобних і допоміжних роботах.

Використання прогресивних якісно досконаліших та ефективних засобів виробництва, прогресивних технологічних процесів, наукової організації праці та виробництва дозволяє скоротити витрати живої праці на одиницю продукції, досягти більш продуктивних кінцевих результатів.

3.4. Поєднання виробництва, науки та інновацій

У сучасних умовах досягти підвищення ефективності виробництва можна, переважно, шляхом розвитку інноваційних процесів, які набувають кінцевого виявлення в нових технологіях, нових видах конкурентоспроможної продукції.

Інновацією є виробництво або впровадження продукту, у створення якого вкладено нові, раніше не використані знання. *Інноваційним продуктом* можна вважати лише той, у собівартості якого частка витрат на створення НДДКР перевищує 15 %, а якщо менше – це лише *вдосконалення*. Пошук і використання інновацій безпосередньо на підприємствах є актуальною проблемою. Розвиток нових технічних та

організаційно-технологічних рішень, удосконалення основних принципів управління щодо специфіки вітчизняного ринку створюють умови для поновлення процесів відтворення на підприємствах і дають додатковий імпульс для економічного зростання. Інновації містять не тільки технічні або технологічні розробки, а й будь-які зміни у кращий бік в усіх сферах науково-виробничої діяльності. Постійне оновлення техніки й технологій робить інноваційний процес основною умовою виробництва конкурентоспроможної продукції, завоювання та збереження позицій підприємств на ринку та підвищення продуктивності, а також ефективності підприємства. Якщо виходити із цього, то *інноваційний розвиток* – це еволюція на базі нових знань [31, 38, 55, 82, 111, 112, 123].

Широке освоєння інноваційних технологій у всіх сферах промислового виробництва для більшості індустріально розвинених країн світу є ключовим напрямом досягнення економічного зростання та підвищення якості життя людей. Принцип сьогоднішнього дня – це випередження наукою техніки та технології. Успіх технічного й технологічного процесу, усього ходу науково-технічної, технологічної, інформаційної революції нині залежить від того, наскільки повно та глибоко буде пізнано певну галузь науки.

Науково-технічна революція як корінний переворот у продуктивних силах сучасного суспільства, який здійснюють за випереджальної ролі науки, охоплює не тільки науку та техніку, а й виробництво.

Поняття *наука* багатозначне. Із одного боку, під наукою розуміють систему понять про явища й закони дійсності навколишнього світу. Із іншого – наукою називають сферу дослідницької діяльності, спрямовану на здобуття нових знань щодо природи, суспільства й мислення. Також іноді під наукою розуміють: підсумковий досвід людства в концентрованому вигляді, форму суспільної свідомості, відображення дійсності в суспільній свідомості тощо.

Поява великого машинного виробництва створює умови перетворення науки на активний чинник самого виробництва. В умовах науково-технічної революції відбувається корінна перебудова науки, уже не просто наступною за розвитком техніки, а обганяє її, стає провідною силою прогресу матеріального виробництва. Необхідність у науковому підході в матеріальному виробництві, економіці та політиці, сфері управління та системі освіти змушує науку розвиватися швидшими темпами, ніж будь-яку іншу галузь діяльності (рис. 3.7, рис. 3.8).









Рисунок 3.7 – Наука. Технології. Інновації



Рисунок 3.8 – Інновації в автомобілебудуванні та будівництві

Наукові дослідження класифікують за різними ознаками: методами вирішення поставлених завдань, сферою застосування результатів дослідження, видами досліджуваного об'єкта тощо.

Теоретичні дослідження засновані на застосуванні математичних і логічних методів пізнання об'єкта. Результатом теоретичного дослідження є встановлення нових залежностей, властивостей і закономірностей явищ, що відбуваються. Результати теоретичних досліджень мають бути підтверджені практикою.

Теоретико-експериментальні дослідження передбачають подальшу експериментальну перевірку результатів теоретичних досліджень на натурних зразках або моделях.

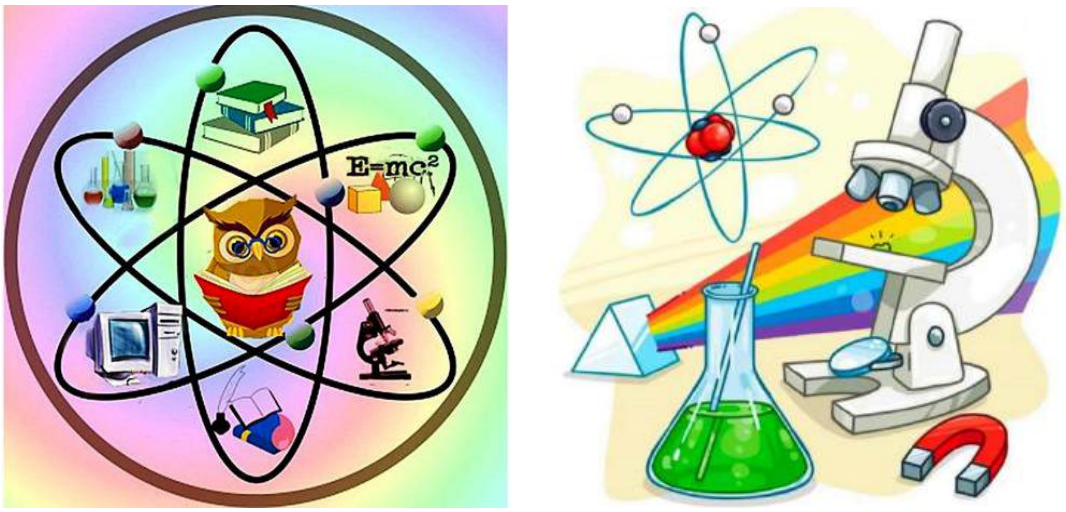


Рисунок 3.9 – Символи науки

Експериментальні дослідження здійснюють на натурних зразках або моделях у лабораторних умовах, за яких встановлюють нові властивості, залежності та закономірності, а також використовують для перевірки висунутих теоретичних положень.

Фундаментальні дослідження ставлять за мету вирішення принципово нових теоретичних проблем, відкриття нових законів, створення нових теорій. На їхній основі вирішують багато прикладних завдань щодо потреб конкретних галузей науки, техніки та виробництва.

Прикладні дослідження є пошуком і вирішенням практичних завдань розвитку окремих галузей виробництва, створенням нових технічних пристроїв і систем, нових технологій і матеріалів тощо на основі результатів фундаментальних досліджень. Саме прикладні дослідження визначають прогрес промисловості, техніки та технології, освіти й культури, підвищення військового потенціалу країни. Таким чином, можна стверджувати, що сучасне виробництво тісно пов'язано із науковою діяльністю та інноваціями, що й привело до науково-технічної революції.

Запитання для самостійного контролю

1. У чому сутність технологій та їхнє значення для суспільства?

2. Наведіть класифікацію технологій із різних їхніх ознак.

3. Чим обумовлено різноманітність визначень поняття "технологія"?

4. Тенденції розвитку технологій та їх особливості на різних етапах розвитку суспільства.

5.Що означає поняття "наукомісткість технологій"?

6. У яких галузях промисловості найбільше застосовують наукомісткі технології?

7. Скільки відсотків становлять обсяги витрат на розвиток науки (від внутрішнього валового доходу) у різних країнах?

8. Скільки відсотків становлять наукомісткі технології у промисловому виробництві розвинених країн?

9. Чи застосовують наукомісткі технології в малих кампаніях?

10. Який зв'язок між інноваційними і наукомісткими технологіями?

11. Назвіть характерні риси науково-технічного прогресу.

12. Який зв'язок є між технологією та науковими знаннями?

13. Чим відрізняється технологія від технологічної системи?

14. Що означає термін "принципово нова технологія"?

15. Назвіть чотири етапи розвитку технологій.

16. Що означає "революційна форма науково-технічного прогресу"?

17. Наведіть приклади науково-технічного прогресу в технологіях.

18. Назвіть характеристики науково-технічної революції.

19. Назвіть основні властивості сучасних технологій.

20. Назвіть основні досягнення в науці.

21. Назвіть напрями розвитку науково-технічної революції.

22. Які досягнення в розвитку металів ви знаєте?

23. Які документи мають назву стандартів?

24. Якими характеристиками визначають якість продукції?

25. Які є методи підвищення ефективності стандартизації?

26. Що означає термін "інновація" і як його пов'язано із наукою та виробництвом?

Література: [11, 12, 25, 31, 34, 36, 38, 39, 54, 55, 69, 72, 79, 94, 111, 112, 114, 123].

Розділ 4. Фізичні основи інноваційних технологій

4.1. Значення фізики у розвитку інноваційних технологій

Фізика (грецьк. – природа) – наука про природу, тобто про те, що нас оточує. Навколишній світ складається із матерії. Фізика вивчає найпростіші і водночас найзагальніші властивості матеріального світу. Тому фізика є універсальною наукою, а її закони є основою всього природознавства (рис. 4.1). Усі природничі науки, що вивчають природу, мають фізичні розділи: біофізика, астрофізика, геофізика, фізична хімія. Вся сучасна техніка – це прикладна фізика: космічна техніка, електроніка, ядерна енергетика, інформаційні технології, нанотехнології тощо.



Рисунок 4.1 – Зв'язок фізики із природничими науками

Фізика – це цікава та захоплююча наука. Вона допомогає зрозуміти навколишній світ, привчає до логічного мислення та розвиває творчі здібності [10, 29, 61, 70, 154].

Найбільші відкриття в біології – це генна інженерія, клонування, розшифрування будови молекули ДНК, яка передає код спадковості, – були б неможливі без таких фізичних приладів, як рентгенівські апарати, ультрацентрифуги, холодильні установки, електронні мікроскопи та багато інших. Існування молекули ДНК задовго до її відкриття передбачи-

ли австрійський фізик Ервін Шредінгер та американський фізик українського походження Георгій Гамов.

Лазерні приціли та апарати нічного бачення служать військовим, а лазерні ножі – лікарям. У наш час лазерними шоу прикрашають свята.

Особливо важливою для життя суспільства є роль фізики у створенні нових джерел енергії: від батарейок та електрогенераторів до атомних і термоядерних станцій.

Бурхливий розвиток фізики у XX столітті зумовив появу нових наукових дисциплін: хімічна фізика і фізична хімія, біофізика, біоенергетика, біоніка та інженерна генетика, астрофізика, космологія і космічна фізика, медична фізика.

XX століття виявилося століттям несподіваних і захоплюючих відкриттів у фізиці, які знайшли практичне застосування і суттєво змінили життя людства.

Фізика є основою техніки та технологій, оскільки різні технічні пристрої грунтуються на використанні явищ і законів природи, відкритих і вивчених у фізиці. Усі побутові прилади, без яких не може обійтися сучасна людина, створено завдяки вивченню багатьох фізичних явищ. Комп'ютерами сьогодні користується кожен: від школяра і бухгалтера до інженера та науковця. Появою сучасних комп'ютерів слід завдячувати дослідженням фізиків у галузі напівпровідникових матеріалів та нанотехнологій. Те, що фізика вже давно проникла у виробництво, техніку, медицину, побут, індустрію розваг, ще раз підтверджує – знання фізики знадобляться кожній людині.

Створення ядерної фізики

Одна із проблем людства – отримання достатньої кількості енергії. Із відкриттям законів ядерної фізики людство отримало небачену могутність, що дало змогу вирішувати питання енергетичної кризи (атомні електростанції). Проте виникла загроза самознищення (атомна і воднева зброя). Відкриття антиречовини обіцяє створити в сотні разів потужніші джерела енергії, ніж ядерна. Так, узимку відром вугілля можна обігріти квартиру на один вечір. Одне відро урану (якщо звільнити всю ядерну енергію, котра міститься в ньому) може забезпечити півмільйонне місто світлом і теплом упродовж року.

Відомо, що сонячне світло є природним біологічно найціннішим видом освітлення, до якого максимально пристосоване око людини. В умовах зростання цін на енергоресурси, а також підвищення вимог

до якості освітлення дедалі актуальнішим стає питання зниження витрат на електроенергію і підвищення ефективності освітлювальних пристроїв. Сьогодні створено компактні люмінесцентні лампи, які споживають електроенергії приблизно в 6 – 8 разів менше ніж лампи розжарювання за тою самою світловою віддачею. Вони мають більший термін використання (у 10 разів більший від терміну використання лампи розжарювання з вольфрамовою ниткою), менші затрати на обслуговування порівняно з лампами розжарювання.

Космічні технології та технологічні системи

Космічні технології – це принципово нові технології, які дозволяють вивчати Космос та знаходитись у космічному просторі. Космічні технології дозволяють точно позначати місцезнаходження на Землі та взагалі в Космосі (рис. 4.2). GPS є найбільшим застосуванням цієї технології у світі.



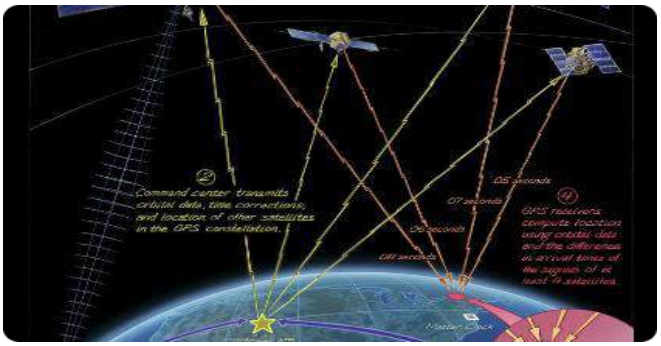
а



б



в



г

Рисунок 4.2 – Застосування космічних технологій:
визначення місцезнаходження на Землі (а); стеження за Землею (б);
життя в космосі (в); навігація (г)

Космічні технології допомагають людству жити та працювати в Космосі. Міжнародна космічна станція також служить місцем вивчення багатьох інших наук.

Космічні технології дозволяють стежити за кліматом, джерелами води, забрудненням довкілля та іншими природними процесами. Це допомагає зберігати навколишнє середовище та розвивати науку.

Супутники та їх практичне значення:

- дослідження Землі: супутники дозволяють вивчати клімат, географію та інші особливості Землі. Наприклад, супутник Terra допомагає вивчати зміни у рослинності та водних ресурсах;
- зв'язок: супутники забезпечують надійний зв'язок у будь-якій рідкості чи під загрозою інтерференції. Такі супутники, як Iridium та Inmarsat, забезпечують зв'язок у місцях, де звичайний мобільний зв'язок неможливий;
- навігація: більшість супутників, які використовуються для навігації, знаходяться на низьких орбітах. GLONASS та Galileo – дві з найбільших систем навігації;
- телевізійні центри: супутники забезпечують передачу радіо- та телепрограм у світовий масштаб. Деякі з найвідоміших телевізійних супутників – Astra, Intelsat та SES.

Ракети та їх технології

Роберт Годдарт та Константин Ціолковський уперше запропонували використання ракет для польотів у Космос.

За допомогою ракет вдалося подолати земне тяжіння, побудувати космічні станції і навіть побувати на Місяці (рис. 4.3). Космічним апаратам вдалося сфотографувати з близької відстані багато планет Сонячної системи. На Марс, Венеру, Місяць і навіть на супутник Сатурна – Титан – вдалося висадити дистанційно керовані апарати (рис. 4.4).

Створення космічних апаратів потребує нових технологій. Так, для їх виготовлення необхідні двигуни, які забезпечують необхідну швидкість, та різні матеріали, які забезпечують такі показники як міцність і вагу (алюміній, композити тощо). Проте, прилади і матеріали космічної промисловості можна застосовувати, наприклад, і для виготовлення штучних суглобів у медицині або для виробництва гірських лиж чи автомобільних двигунів. Це, як виявилося, надає великий прибуток, тому розвинуті країни вкладають у наукові дослідження величезні кошти. Так, програма "Аполлон" – висадка людини на Місяць –

обійшлася американцям у 25 млрд. доларів. Але прибуток від високих технологій становить 4 долари на кожен витрачений долар. Це у 20 разів ефективніше, ніж аналогічні асигнування у промисловість. Отже, вкладати гроші у розвиток нових технологій, освіту та фундаментальні дослідження (ті, що є основою всіх інших), вигідно.

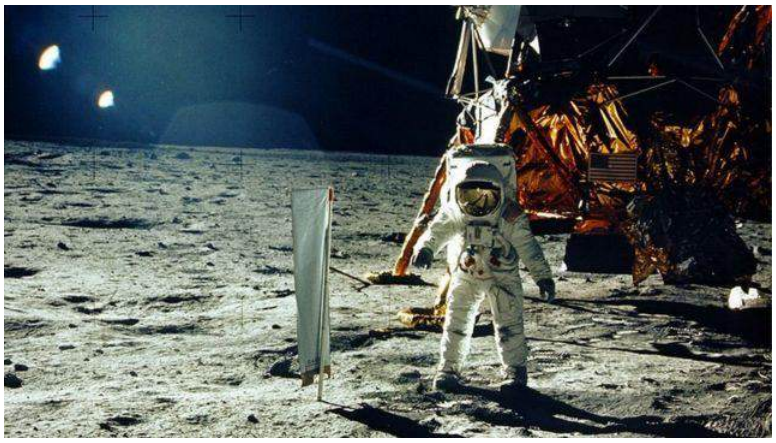


Рисунок 4.3 – Людина ступила на поверхню Місяця

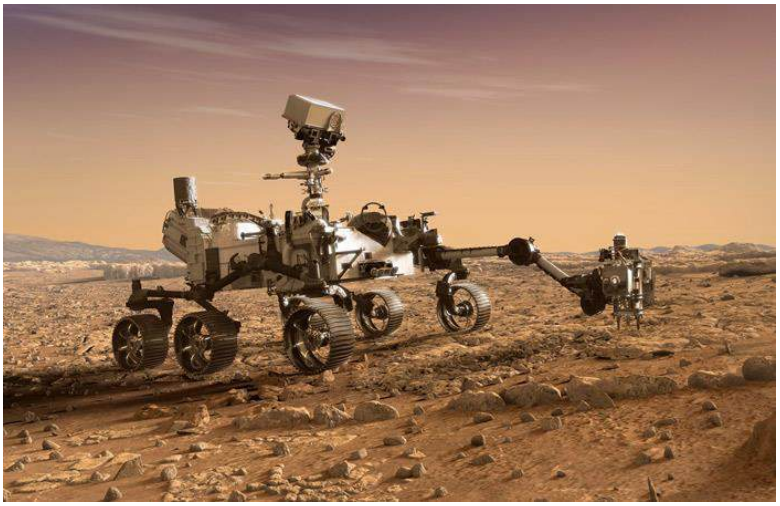


Рисунок 4.4 – Марсохід Curiosity здійснив посадку на Червоній планеті

Міжнародні космічні програми:

• міжнародна космічна станція (MKS) є найбільш відомою космічною програмою в світі. Вона розпочалася у 1998 році та забезпечувала середовище для ведення наукових досліджень Космосу, спостереження за Землею та розроблення технологій для подальших космічних досліджень, життя та роботи на орбіті;

• європейське космічне агентство (ЄКА) займається багатьма космічними проектами, такими як створення супутників та запуск ракет.

Крім цього, вони працюють над розробленням нових технологій та випробовують різні шляхи високочастотних комунікацій;

• НАСА є однією із найбільших та найбільш відомих космічних програм в світі. Вони займаються дослідженням Космосу, пілотними місіями, розробленням нових технологій та вчиненням відкриттів у Космосі.

Шляхи розвитку космічних технологій

Зелені технології, такі як збір енергії Сонця та повторне використання ракети, допомагають зберігати кількість ресурсів та уникати забруднення навколишнього середовища (рис. 4.5).

Використання віртуальної реальності в космічних програмах, робототехніки та зміцнення здатності до управління життям у Космосі – це лише декілька способів, які можуть допомогти у розвитку космічних технологій у майбутньому.



а б

Рисунок 4.5 – Екологічні вирішення (а) та інновації (б)

Зараз команді космічних програм потрібні пошуки нових способів, які допоможуть доставити людей на інші планети та дозволити їм хоча б ненадовго жити на них. Туризм в космічному вимірі може дати натхнення технологічному і науковому розвитку.

Таким чином, сучасний прогрес космонавтики, радіоелектроніки, атомної енергетики, авіації, машинобудування тощо – результат досягнень у галузі виробництва штучних матеріалів: надтвердих, жароміцних, антикорозійних тощо; використання рідкісних металів та їх сплавів. Знання залежності хімічних і фізичних властивостей речовини від її фізичної структури дає можливість ученим передбачати майбутні властивості того або іншого матеріалу і цілеспрямовано синтезувати матеріали із заздалегідь заданими механічними, магнітними, оптичними та іншими властивостями.

Радіо, телебачення, Інтернет

Радіо і телебачення – диво, до якого ми вже звикли і сприймаємо як належне. Існування радіохвиль передбачив ще у XIX ст. англійський фізик Джеймс Клерк Максвелл. Минуло 14 років, перш ніж німецький фізик Генріх Герц відкрив ці хвилі, і ще 8 років, аж поки російський фізик Олександр Попов винайшов спосіб їх використання – радіоприймач. Тут беруть свій початок сучасні радіо і телебачення, мобільний телефонний зв'язок, електронна пошта і "всесвітня павутина" – "www" – Інтернет. Цікаво, що Інтернет створено Тім Бернес Лі в Європейському центрі ядерних досліджень ЦЕРН у 1995 році (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – "Батько" Інтернету Тім Бернес Лі

Важко переоцінити значення досягнень у виробництві напівпровідникових та інших матеріалів для сучасної радіоелектроніки.

Створення сучасних комп'ютерів

У першій половині XX століття фізики відкрили новий клас матеріалів, названих напівпровідниками. А в 1948 році на основі цих матеріалів було створено найважливіший елемент усіх електронних приладів – транзистор. Саме за відкриття транзистора американський фізик Джон Бардін удостоївся найпрестижнішої у світі вчених Нобелівської премії. Проте справжня революція у виготовленні комп'ютерів розпочалася в 1970-ті роки, коли вчені та технологи навчилися вирощувати мільйони транзисторів на невеличких напівпровідникових пластинках, площа яких дорівнює площі нігтя. Сьогодні персональні комп'ютери можна розташувати на столі, а деякі моделі навіть у кишені, а виконувати вони можуть мільярди і трильйони операцій за секунду.

Ускладнення сучасного промислового виробництва, зростання взаємозв’язків між окремими підприємствами вимагають автоматизації

багатьох керуючих функцій. Це можна здійснити лише за допомогою електронних автоматизованих систем управління, матеріальною основою яких є комп'ютерні технології. Нині комп'ютери широко застосовують в усіх сферах науки, техніки і виробництва та відкрили великі можливості не тільки в управлінні виробничими процесами для побудови автоматизованих систем технологічної сфери, а й у адміністративній галузі. Комп'ютери застосовують у верстатах із програмним управлінням, за їх допомогою керують транспортними засобами, наприклад електропотягами, літаками, кораблями, здійснюють контроль за рухом в аеропортах та на аеродромах.

Сучасні технології дають змогу створювати як мініатюрні вироби, так і величезні конструкції. Наприклад, деталь, яка легко помістилася на кульбабі, Південний міст через Дніпро, побудований у Києві. Майже в усіх галузях машинобудування застосовують автоматизовані технологічні процеси. На транспорті стали звичним явищем автоматичні залізничні сортувальні станції. Потяги без машиніста сьогодні – це вже реальність. В авіації багато років використовують автопілоти. Широко використовують автоматизовані радіолокаційні та авіанавігаційні пристрої.

Лазери, або оптичні квантові джерела світла

У 1964 році Нобелівські премії за відкриття лазера отримали американець Чарлз Таунс і радянські фізики Микола Басов та Олександр Прохоров. Лазери проникли буквально в усі сфери життя, зокрема, медицину, сільське господарство, побутову радіоелектроніку і навіть індустрію розваг. За допомогою лазерного променя виконують складні операції на оці людини (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – Лазерна корекція зору

Проте найцікавіші способи застосування лазерів для демонстрації об'ємного кіно та об'ємного телебачення – ще попереду. Потужні волоконні лінії, що використовують в магістралях для передачі інформації, в тому числі й для роботи Інтернету, – це також сфера застосування лазерів.

4.2. Основи термодинаміки та теплові двигуни

Теплообмін та внутрішня енергія ідеального газу

Термодинаміка вивчає аналіз умов та кількісних співвідношень під час різних перетворень енергії, що відбуваються в термодинамічній системі [10].

Термодинамічна система – це система із великою кількістю часток, між якими існує певний зв'язок. Прикладом такої системи є ідеальний газ. Особливістю цієї системи є те, що в ній не розглядають внутрішню будову тіл, яку вивчають, і характер руху ідеальних частинок, тобто систему сприймають як ціле.

Основу термодинаміки становлять два закони, встановлені дослідним шляхом, які називають *початками*.

Перший закон, який є законом збереження енергії в термодинаміці, встановлює зв'язок між *кількістю теплоти*, *одержаною системою, зміною її внутрішньої енергії та роботою.*

Теплопередачею або теплообміном називають процес передачі енергії від одного тіла до іншого без виконання роботи. Існують три види теплопередач:

1. *Теплопровідність*, за якою внутрішня енергія передається від одного тіла до іншого під час зіткнення тіл.

2. *Конвенція*, за якою енергія передається рухомими струменями рідини або газу.

3. *Випромінювання*, за яким енергія передається світловим потоком.

Енергія, що передається системі зовнішніми тілами шляхом теплообміну, називається *кількістю теплоти* Q: [Q] = Джоуль. Під час нагрівання однорідного тіла масою m від температури t_1 до t_2 кількість теплоти, що отримує тіло, визначається формулою:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot \Delta t, \qquad (4.1)$$

де c – питома теплоємність речовини, $[c] = \frac{Дж}{кг \cdot К}$.

Внутрішня енергія ідеального газу визначається лише кінетичною енергією поступального руху молекули, оскільки потенційна енергія взаємодії між молекулами дорівнює нулю:

$$U = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \text{ – для однієї молекули.}$$

$$U = \sum \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k \cdot T \text{ – для всіх N молекул.}$$

Робота в термодинаміці

Нехай на поршень, що знаходиться в посудині з газом, діє сила, яка стискає газ під час переміщення поршня від положення h_1 до положення h_2 (рис. 4.8,а).

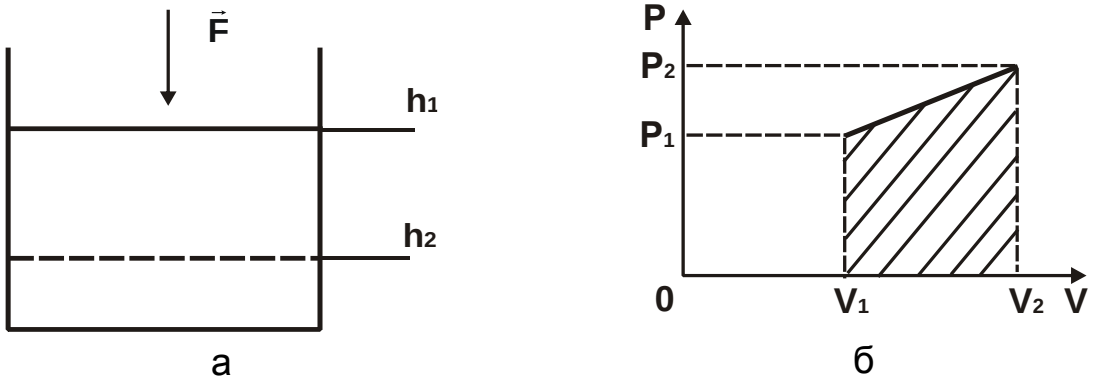


Рисунок 4.8 – Робота із стиснення газу в посудині (а)
і графічне зображення роботи (б)

Тоді елементарна робота поршня визначиться:

$$\Delta A = F \cdot (h_2 - h_1) = F \cdot h = P \cdot S \cdot \Delta h \rightarrow \Delta A = P \cdot \Delta V,$$

а повна робота дорівнює:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV. \qquad (4.2)$$

Виходячи із графічної діаграми $P = f(V)$, робота дорівнюватиме заштрихованій площі (рис. 4.8,б).

Перший закон термодинаміки: кількість теплоти Q, яку одержала система, витрачається на зміну її внутрішньої енергії ΔU та на виконання системою роботи A над зовнішніми тілами:

$$Q = \Delta U + A. \qquad (4.3)$$

Існує й інше формулювання *першого закону термодинаміки*: зміна внутрішньої енергії системи ΔU дорівнює кількості тепла Q,

отриманого системою, та роботі, виконаній зовнішніми тілами над системою A':

$$\Delta U = Q + A', \qquad (4.4)$$

де $A' = -A$.

Ізопроцеси та адіабатичний процес

Перехід термодинамічної системи із одного стану до іншого називають *процесом*. Якщо один із параметрів газу не змінюється, то це буде *ізопроцес*. Існують 3 ізопроцеси: ізохорний (V = const, рис. 4.9,а); ізобарний (P = const, рис. 4.9,б); ізотермічний (T = const, рис. 4.9,в).

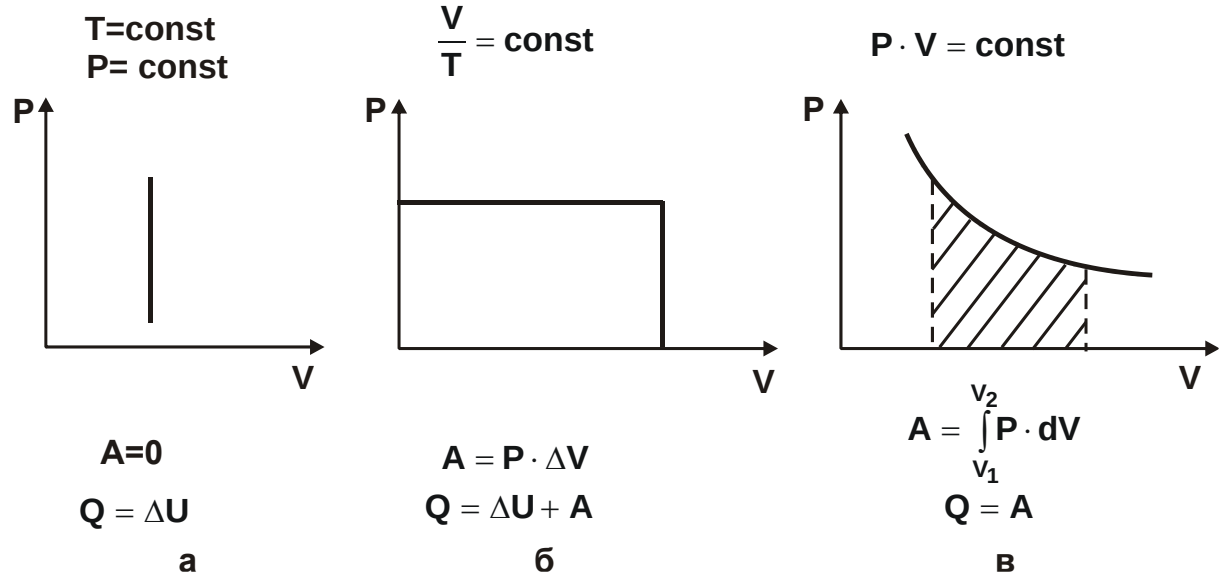


Рисунок 4.9 – Ізопроцеси: а – ізобарний, б – ізохорний, в – ізотермічний

Якщо система внаслідок кількох переходів повертається у вихідний стан, то таку сукупність процесів називають *циклом*.

Адіабатичний процес – це процес, який відбувається без теплообміну із навколишніми тілами. Усі процеси, що відбуваються дуже швидко, практично можна вважати адіабатними.

Перший закон термодинаміки для адіабатичного процесу має такий вигляд: $\Delta U = A$ або $\Delta U = -A'$.

Другий закон термодинаміки встановлює напрям протікання термодинамічних процесів. Існує кілька формулювань цього закону. Розглянемо два формулювання:

1. В ізольованій системі теплота не може самостійно перейти від холодного тіла до гарячого.

2. Коефіцієнт корисної дії будь-якого механізму не може бути більшим за одиницю.

Тепловий двигун. Цикл Карно

Тепловим двигуном називається машина, в якій енергія, яку отримано під час згорянні палива, перетворюється у механічну роботу, тобто *тепловий двигун* – це машина, яка перетворює внутрішню енергію палива на механічну роботу [101].

Речовину, яка виконує роботу у теплових двигунах, називають *робочим тілом* або *робочою речовиною*. У парових двигунах такою робочою речовиною є пара, а в двигунах внутрішнього згорання такою робочою речовиною є газ.

Тепловий двигун складається із 3 основних частин (рис. 4.10,а):

- нагрівача, який має температуру T_1;
- робочого тіла (газ або пара), яке отримує від нагрівача кількість теплоти Q_1;
- холодильника, температура якого $T_2<T_1$ і який забирає від робочого тіла кількість теплоти Q_2.

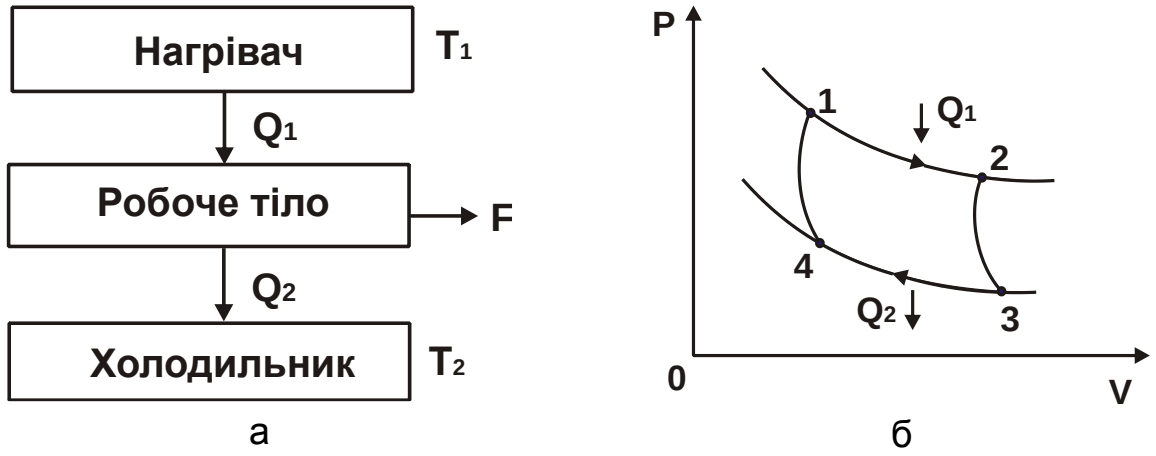


Рисунок 4.10 – Схема теплового двигуна (а) і цикл Карно (б)

Коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) двигуна дорівнює відношенню виконаної роботи до всієї витраченої енергії:

$$\eta = \frac{A_{\text{викон}}}{A_{\text{витр}}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1. \qquad (4.5)$$

Розглянемо круговий процес, який складається із двох ізотерм: (1–2) та (3–4) і двох адіабат (2–3) та (4–1) і називається *циклом Карно* (рис. 4.10,б).

Цикл Карно – це схема ідеальної парової машини із максимально можливим к. к. д. За цикл виконується корисна робота, яка чисельно дорівнює площі фігури 1–2–3–4–1.

К. к. д. циклу Карно визначається за формулою:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1. \qquad (4.6)$$

Зміна температури газу під час швидкого розширення і стиску

Дослідами встановлено, що під час швидкого стиску температура газу підвищується, а під час швидкого розширення – знижується. Так, під час швидкого стиску повітря в посудині дуже нагрівається і легкозаймиста речовина (наприклад, ватка, змочена ефіром), яку покладено на дно посудини, спалахує. Таке явище використовують, наприклад, у двигунах внутрішнього згоряння – дизелях: під час стискання повітря у циліндрі горюча суміш нагрівається до температури спалаху.

Двигуни внутрішнього згоряння

У двигунах внутрішнього згоряння використовують рідке або газоподібне паливо. Розглянемо будову чотирьохтактного бензинового автомобільного двигуна (рис. 4.11).

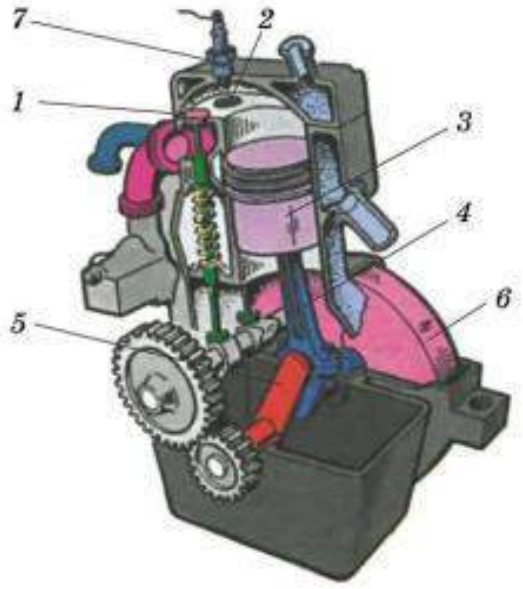


Рисунок 4.11 – Двигун внутрішнього згоряння: 1, 2 – впускний та випускний клапани; 3 – поршень; 4 – шатун; 5 – вал; 6 – маховик; 7 – свічка

У середині циліндра вільно може переміщатися поршень. У верхній частині циліндра є два клапани. Через один клапан у циліндр всмоктується пальна суміш, а через другий клапан видаляється із ци-

ліндра спрацьований газ. Зверху знаходиться запальник (свічка), яку призначено для запалювання суміші над поршнем.

Крайні положення поршня у циліндрі називають "мертвими точками" (верхня і нижня мертви точки). Від цих положень поршень починає зворотно-поступальний рух. Відстань, яку проходить поршень від одній мертвої точки до другої, називають ходом поршня.

Процес, під час якого пальна суміш всмоктується, називається *впуском*, наступний хід – *стиском*, за ним йде розширення – *робочій хід* (на початку цього ходу пальна суміш запалюється, тиск різко підвищується, потім продукти згоряння розширюються). Останній хід – це *випуск*. Як видно, на чотири такти припадає лише один робочий такт, протягом якого двигун виконує корисну роботу. Такі двигуни називають *чотиритактними*. На рис. 4.12 показано принцип роботи двигуна, а на рис. 4.13 – схему і діаграми роботи цього двигуна.

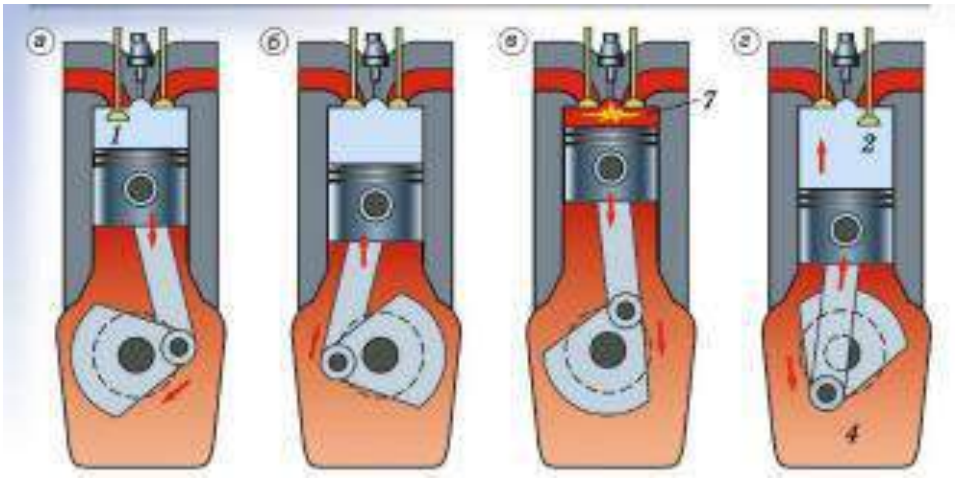


Рисунок 4.12 – Принцип роботи двигуна внутрішнього згоряння (4 такти): впуск (а); стиск (б); робочий хід (в); випуск (г)

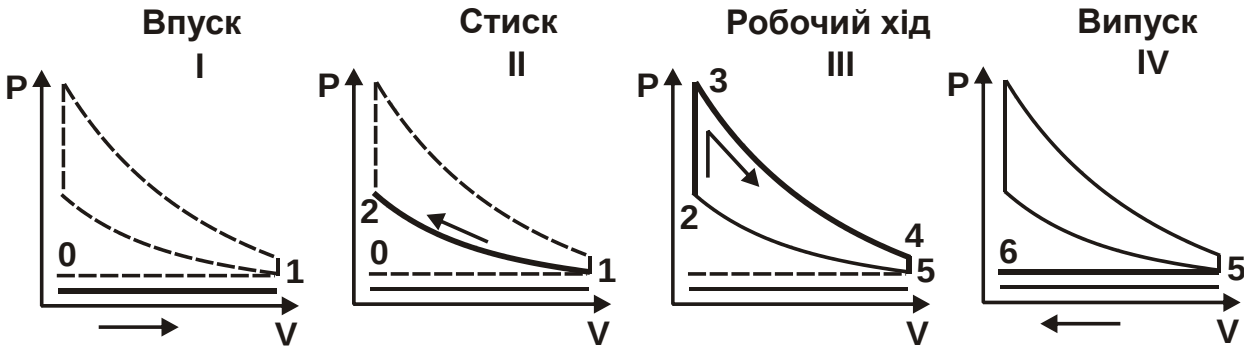


Рисунок 4.13 – Схема і діаграми роботи двигуна внутрішнього згоряння

Двигун внутрішнього згоряння – дизель

Слід зазначити, що к. к. д. двигуна внутрішнього згоряння становить 20 – 30 %. Підвищити к. к. д. можна підвищенням стиску суміші, але в цих двигунах не можна дуже стискати пальну суміш, бо вона може передчасно самозайматися.

Німецький інженер Дизель винайшов двигун внутрішнього згорянння, який працює за циклом, що дозволяє уникнути зазначеного утруднення і значно підвищує к. к. д. – це дизель. Він має всмоктувальний і випускний клапани. Під час руху поршня відкривається всмоктувальний клапан і в циліндр засмоктується повітря. На діаграмі (рис. 4.14,б) це зображено ізобарою 0–1.

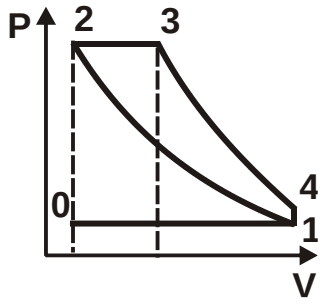


Рисунок 4.14 – Діаграма роботи двигуна внутрішнього згоряння (дизеля)

Під час зворотного ходу поршня всмоктувальний клапан закривається і в циліндрі стискується повітря (крива 1–2). Стиск дуже великий, що підвищує температуру до значення, достатнього до займання палива. Коли поршень приходить у верхню мертву точку, паливо починає подаватися у циліндр через форсунку. Попадаючи в гаряче повітря, паливо згоряє, але не відразу, як у двигунах швидкого згоряння, а поступово (на діаграмі це лінія 2–3). Далі розширення газів (крива 3–4) триває до моменту приходу поршня в нижню мертву точку. Після цього відкривається випускний клапан, й тиск газів спадає (лінія 4–1), і спрацьовані гази виходять з циліндра. К. к. д. цього двигуна складає близько 40 %. Він має більшу потужність і може працювати на дешевих сортах рідкого палива.

Парова машина та парова турбіна

Парова машина або паровий двигун – це тепловий двигун зовнішнього згоряння, який перетворює енергію водяної пари в механічну роботу зворотно-поступального руху поршня, а потім в обертальний рух вала. Отже, парова машина – це будь-який двигун зовнішнього згорян-

ня, який перетворює енергію пари в механічну роботу. Таким чином, до парових машин можна віднести і парову турбіну, що має достатньо широке застосування у багатьох галузях техніки. На рис. 4.15 показано схему роботи парової машини.



Рисунок 4.15 – Схема роботи парової машини: 1 – вал; 2 – диск; 3 – лопатки; 4 – сопло (через нього подається пар під високим тиском)

Парова турбіна – це паровий двигун безперервної дії, що перетворює теплову енергію водяної пари на механічну роботу обертання ротора (рис. 4.16) [101].



Рисунок 4.16 – Сучасна парова турбіна із багатьма дисками (із лопатками, через які проходить пар)

Парова турбіна використовує не потенціальну енергію, а кінетичну енергію пари. Енергія турбіни залежить від кількості послідовних ступенів турбіни. Вони складаються із нерухомого кермового колеса –

статора (має нерухомі лопаті, що виконують роль сопла, тобто перетворюють потік пари із котла на високошвидкісні струмені), пов'язаного із твердим тілом, і колеса ротора із лопатками, позв'язаного із обертовим валом. Високошвидкісні струмені містять значну кінетичну енергію, яка перетворюється на обертання валу лопатями ротора у вигляді ковшів/лопаток, коли струмінь пари змінює напрям завдяки аеродинаміці. На рис. 4.17 – рис. 4.19 показано сучасні парові турбіни.

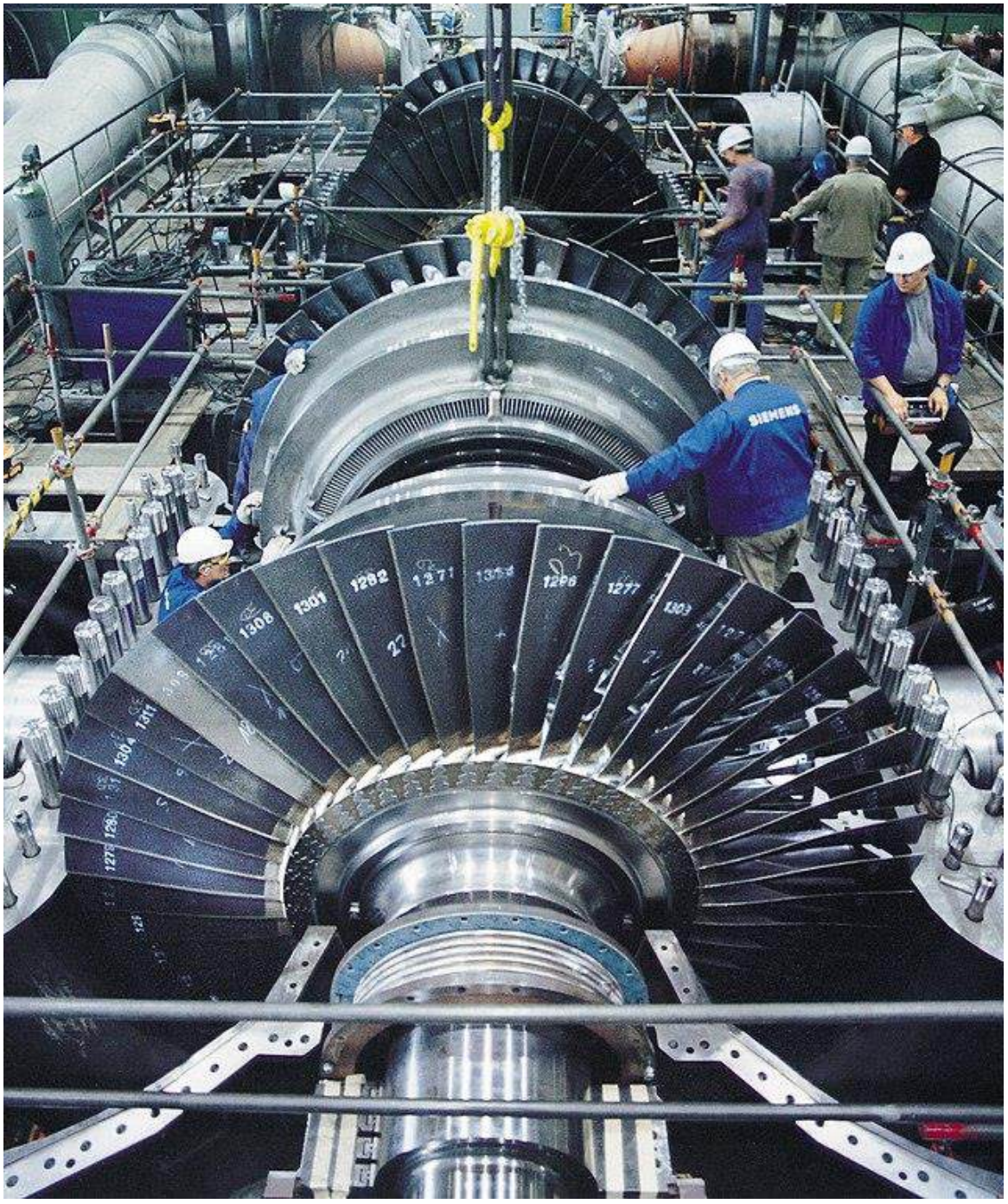


Рисунок 4.17 – Монтаж ротора парової турбіни виробництва компанії Siemens, Німеччина



Рисунок 4.18 – Парова турбіна низького тиску в експлуатації нижче атмосферного тиску в атомній електростанції

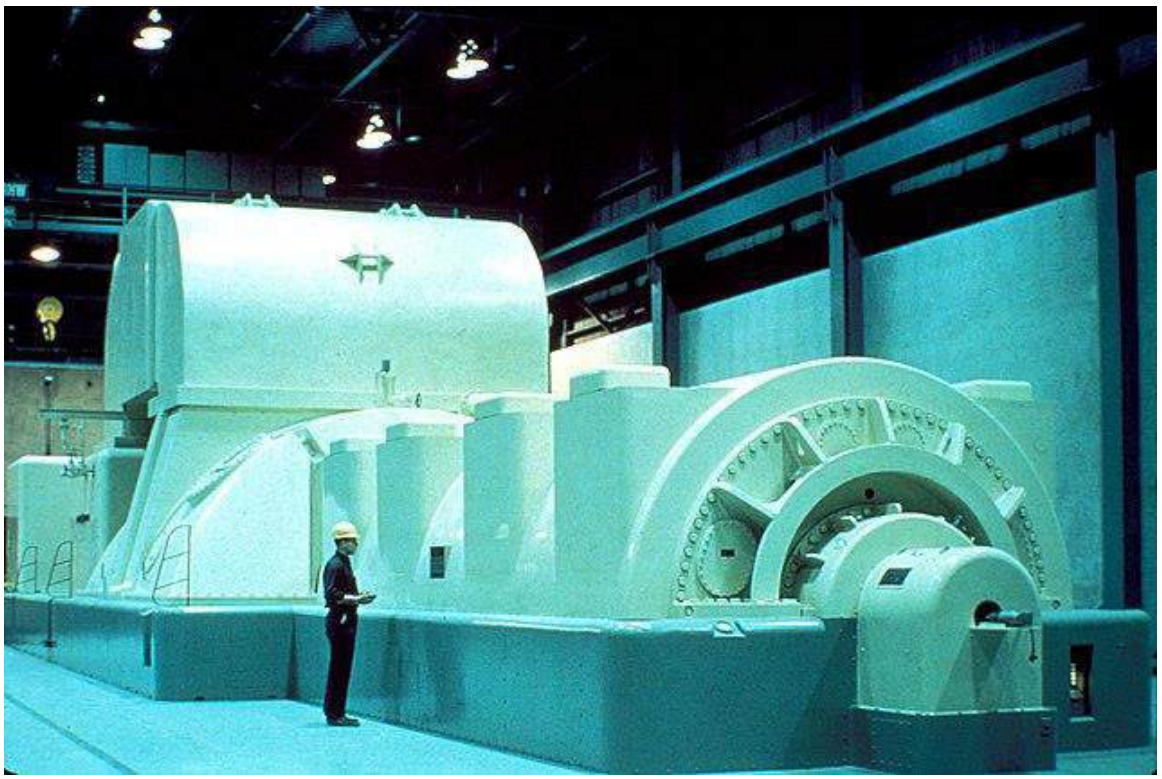


Рисунок 4.19 – Сучасний монтаж парової турбіни генератора

Переваги парової турбини та двигуна внутрішнього згоряння поєднано в *газовій турбіні* (рис. 4.20), у якій внутрішня енергія газу перетворюється на кінетичну енергію вала.

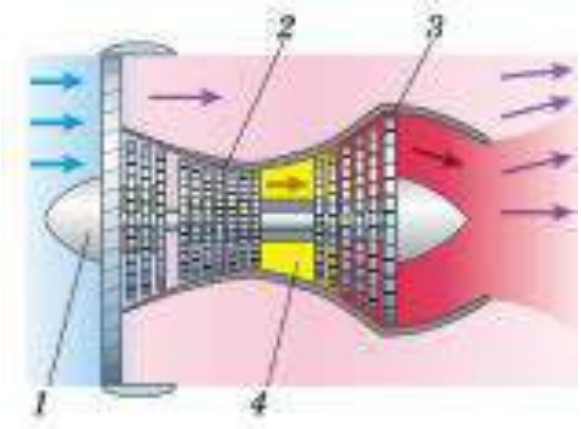


Рисунок 4.20 – Газова турбина: 1 – гвинт літака; 2 – компресор; 3 – лопатка турбини; 4 – камера згоряння

Газова турбіна – це обертова енергетична машина, яка використовує безперервний потік газу як робоче тіло і перетворює теплову енергію в механічну роботу [101].

Робочий процес газової турбіни полягає в тому, що компресор безперервно забирає повітря із атмосфери і стискає його. Стиснене повітря надходить до камери згоряння, змішується із впорснутим паливом і згорає, перетворюючись на високотемпературний газ, а потім надходить у газову турбіну, розширюючись і виконуючи роботу, штовхаючи робоче колесо турбіни до обертання разом із робочим колесом компресора. Функціональна потужність нагрітого високотемпературного газу значно підвищується, тому газова турбіна має залишкову роботу як вихідну механічну роботу газової турбіни для приводу компресора.

У простому циклі приблизно від 1/2 до 2/3 механічної роботи, виробленої турбіною, використовується для приводу компресора, а решта 1/3 або близько того використовується для приводу генератора. Коли газова турбіна запускається, зовнішнє джерело живлення (як правило, стартер) приводить у рух компресор до тих пір, поки механічна потужність, що виділяється газовою турбіною, не перевищить механічну потужність, споживану компресором. Потім зовнішній стартер відключається і газова турбіна може працювати самостійно.

Початкова температура газу і ступінь стиснення компресора є основними чинниками, що впливають на ефективність газової турбіни.

Підвищення початкової температури газу і, відповідно, збільшення ступеня стиснення може значно підвищити к. к. д. газової турбіни. Так, в кінці 1970-х років ступінь стиснення досягла максимуму 31. Початкова температура газу промислових і морських газових турбін становить близько 1200°, а авіаційних газових турбін – більше 1350°.

Слід зазначити, що газова турбіна є такою ж лопатковою машиною, що й парова турбіна: в обох випадках механічна енергія обертання ротора генерується в результаті трансформації на його лопатках кінетичної енергії потоку робочого тіла. За суттю, відрізняються ці турбіни лише робочим тілом. Якщо в паровій турбіні таким, зазвичай, є водяна пара, то в газовій турбіні – це газ, тобто робоче тіло, яке не змінює свій агрегатний стан в циклі (найчастіше це продукти згоряння або їх суміш із повітрям чи парою). Для утворення кожного із цих робочих тіл потрібні визначені комплекси додаткових агрегатів, які утворюють разом із турбіною установку: паротурбінну (ПТУ) – під час роботи на парі та газотурбінну (ГТУ) – під час роботи на газі, а також парогазову (ПГУ) – під час роботи на парі та газі.

Газотурбінна установка (ГТУ) володіє суттєво великими можливостями досягнення високого к. к. д. порівняно із паротурбінною установкою (ПТУ) завдяки значно більшій температурі робочого тіла (верхній температурі циклу). При цьому їй властивий ряд інших конструктивних і експлуатаційних переваг перед існуючими тепловими двигунами (ротаційними і поршневими): вона може бути виконана із агрегатною потужністю, яка співставна із потужністю сучасних парових турбін, і при цьому дозволяє завдяки меншої питомої ваги значно скоротити витрати металу на спорудження електростанції (у 5 – 10 разів), завдяки менших габаритів скоротити необхідну площу і кубатуру приміщень для встановлення обладнання (у 2 – 3 рази, а в деяких випадках і більше), забезпечити швидкий запуск установки і її високу маневреність завдяки властивих ГТУ динамічних характеристик, надійно і економічно працювати на різних видах рідкого і газоподібного палива, скоротити у 4 – 5 разів потребу в охолоджуючій воді, а також завдяки високої надійності спростити експлуатацію, зменшивши у зв’язку із цим витрати на техобслуговування і потребу в обслуговуючому персоналі. При високій технологічності газотурбінний двигун добре пристосований до автоматизації і виконанню агрегатного ремонту, а система його регулювання та захисту забезпечує постійність електричної частоти енергосистеми.

Подальшим розвитком теплових двигунів стали *реактивні двигуни*. У реактивних двигунах паливо згоряє у спеціальній камері та створює потік гарячих газів, що рухається із прискоренням і високою швидкістю, створюючи реактивну тягу, яка діє на двигун у напрямі, протилежному рухові струмини – у напрямі польоту. Так, двигун ракети є реактивним і базується на класичному законі Ньютона – "кожна дія викликає протидію", тобто ракетний двигун викидає масу в одному напрямі, а виникаюча реактивна тяга рухає ракету в протилежному.

Реактивний двигун/руший – це двигун/руший, що створює реактивний рух внаслідок швидкого витікання робочого тіла із сопла, найчастіше робочим тілом є гарячі гази, що утворюються внаслідок спалювання палива у камерах згоряння (рис. 4.21). Розрізняють турбореактивні, пульсаційні (безкомпресорні), прямоточні (ефективно працюють лише за надзвукових швидкостей) та ракетні двигуни. Реактивний двигун не може працювати без кисню, який надходить із повітрозабірника [101].

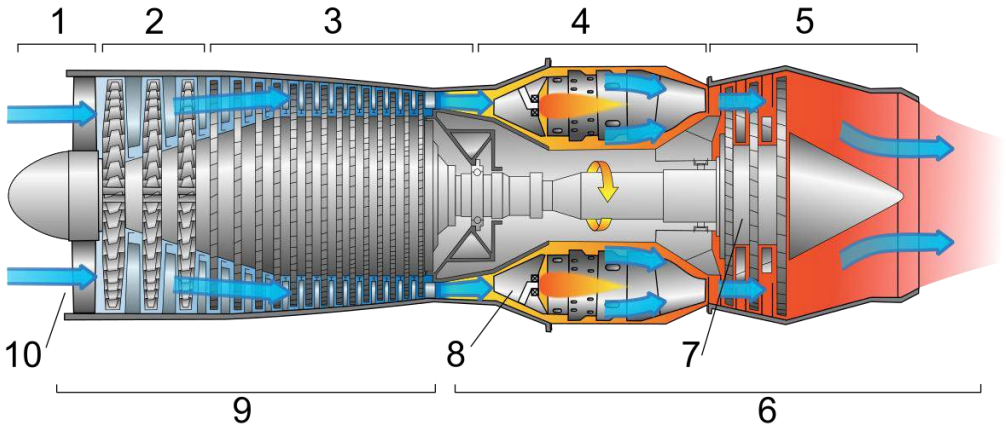


Рисунок 4.21 – Схема реактивного авіаційного двигуна: 1 – впуск повітря; 2 – компресор низького тиску; 3 – компресор високого тиску; 4 – горіння; 5 – вихлоп; 6 – гарячий тракт; 7 – турбіна; 8 – камера згоряння; 9 – холодний тракт; 10 – повітрозабірник

На відміну від поршневих двигунів, робочий процес у реактивних двигунах здійснюється безупинно. У камеру згоряння авіаційних реактивних двигунів роздільно подаються паливо із паливних баків і повітря, що забирається із атмосфери. Повітря піддається стиску, проходячи через дифузор (у прямоточних реактивних двигунах) або турбіну. Відповідно до перетворень, яким піддається горюча суміш, камеру згоряння умовно поділяють на три зони. У першій зоні паливо випаро-

вується й утворює горючу суміш. У другій зоні відбувається згоряння паливно-повітряної суміші. У третій зоні продукти згоряння, температура яких досягає 2300 °С, розбавляються повітрям, після чого їх можна подавати на турбіну, не побоюючись зруйнувати її лопасті. На виході із турбіни гази потрапляють у форсажну камеру. Сюди за необхідності подається додаткова порція палива, під час згоряння якої одержують додаткову потужність.

Задля досягнення першої космічної швидкості потрібно використовувати паливо та ракетні двигуни, що прискорюють швидкість викиду газів. При цьому слід домогтися якомога більшої різниці між початковою і кінцевою масами ракети. Найбільш ефективним паливним рішенням є застосування пару "рідкий водень – рідкий кисень". Інноваційним конструкторським рішенням стали "ракетні потяги" (багатоступінчаті ракети), які перевозять різні частини однієї ракети. У польоті частини від'єднуються із закінченням палива, що дозволяє різко збільшити різницю між початковою та кінцевою масами ракети і, таким чином, досягти першої космічної швидкості.

Холодильні машини

Холодильна машина працює як тепловий насос: вона передає теплоту від холодного тіла до більш нагрітого тіла. Це не суперечить другому закону термодинаміки, оскільки охолодження відбувається завдяки виконанню роботи.

Для розуміння принципу дії холодильної машини розглянемо сутність процесу охолодження рідини під час випаровування [145].

Під час перетворення рідини в пару молекули рідини, перемагаючи сили зчеплення в поверхневому шарі, виконують роботу. Через те, що з рідини вилітають молекули, які мають велику швидкість, середня швидкість решти молекул рідини зменшується. Зменшується їх кінетична енергія. Тому, коли до рідини не має припливу енергії з зовні, випаровування призводить до зменшення внутрішньої енергії рідини, внаслідок чого рідина охолоджується.

Охолодження рідини під час випаровування легко спостерігати, обмотавши марлею або ватою кульку термометра і обливши її ефіром. Швидко випаровуючись, ефір відбирає частину внутрішньої енергії від кульки термометра, внаслідок чого його температура значно знижується. Якщо налити на дерев'яну підставку тонкий шар води і помістити на нього склянку з ефіром, то під час обдування повітрям ефір

швидко випаровується і температура знижується. У результаті склянка примерзає до підставки.

Явище охолодження під час випаровування рідини широко використовують на практиці. Наприклад, під час перевезення продуктів, що швидко псуються, у спеціальних пристроях для охолодження вагонів випаровують рідкій аміак або рідкій двоокис вуглецю.

Для добування льоду в холодильних установках випаровують рідкій аміак у змійовиках, які проходять через розчин солі і охолоджують його нижче 0 °С. У розчин солі встановлюють наповнені водою форми із листової сталі. У цих формах, які обмиваються охолодженим розчином, і утворюються блоки льоду.

Розглянемо принцип дії електричного холодильника – компресійного холодильника (побутового холодильника, рис. 4.22).



Рисунок 4.22 – Сучасні холодильники

Робочим тілом (холодоагентом) у побутовому холодильнику використовують фреон. Фреоном заповнено систему конденсатора і випарника. Компресор, який приводиться в дію електродвигуном, відкачує газоподібний фреон із випарника і нагнітає його в конденсатор. Під час стискання фреон нагрівається. Охолодження його до кімнатної температури відбувається в конденсаторі, розташованому звичайно на задній стінці холодильної шафи.

Охолоджений до кімнатної температури за підвищеного тиску, створеного у конденсаторі за допомогою компресора, фреон перехо-

дить у рідкий стан. Із конденсатора рідкий фреон через капілярну трубку надходить у випарник. Відкачування пари фреону з випарника за допомогою компресора підтримує в ньому знижений тиск.

У разі зниженого тиску у випарнику рідкий фреон кипить і випаровується навіть за температури, нижчої від 0 °С. Енергія на випаровування фреону відбирається від стінок випарника, викликаючи охолодження їх. Відкачана пара фреону надходить до кожуха компресора, звідки знову іде в конденсатор, тобто іде за замкнутим колом (рис. 4.23).

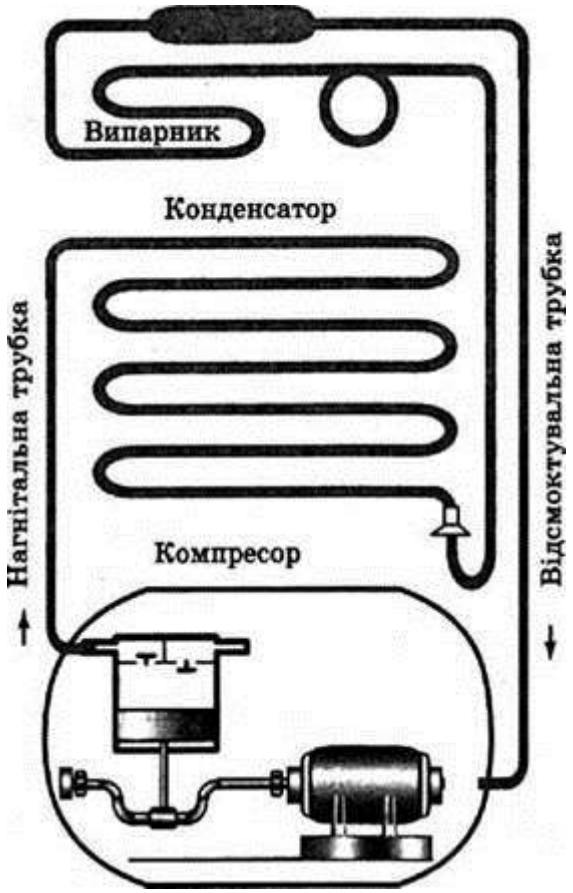


Рисунок 4.23 – Схема будови компресійного холодильника

Найнижча температура, якої можна дістати у випарнику (морозильній камері), визначається значенням тиску пари фреону, оскільки температура кипіння фреону, як і будь-якої іншої рідини, знижується зі зниженням тиску. У разі постійної швидкості надходження рідкого фреону із конденсатора у випарник через капілярну трубку тиск пари фреону у випарнику буде тим нижчий, чим довше працює компресор. Якщо немає потреби зменшувати температуру у випарнику до граничного можливого значення, то компресор періодично зупиняється шляхом

вимкнення електродвигуна, який приводить його в дію. Компресор вмикається автоматичним пристроєм, що підтримує у холодильній шафі задану температуру.

Отже, холодильник також є тепловою машиною, принцип дії якого ґрунтується на оборотності циклу теплової машини. Холодильна машина працює як тепловий насос: вона передає теплоту від холодного тіла до більш нагрітого. Це не суперечить другому закону термодинаміки, оскільки охолодження відбувається за рахунок виконання роботи (рис. 4.24).

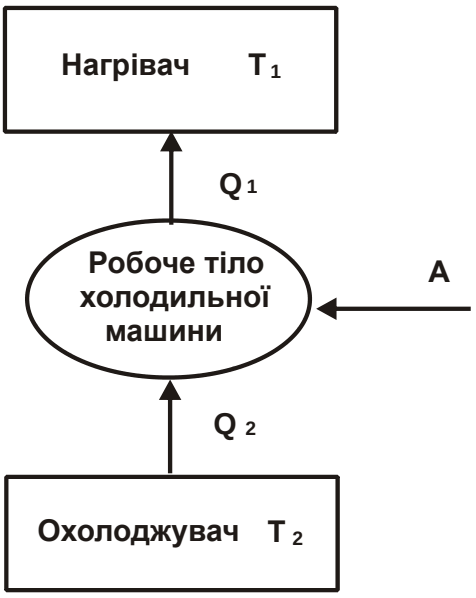


Рисунок 4.24 – Принцип дії холодильної машини

Щоб холодильну машину привести в дію, необхідно над робочим тілом виконати роботу. Тоді нагрівачу буде передаватися більша кількість теплоти, ніж відбиратися у охолоджувача: $|Q_1| = |Q_2| + A$ (рис. 4.24). Таким чином, температура охолоджувача T_2 ще більше буде зменшуватися, а температура нагрівача T_1 збільшуватися.

Ефективність холодильної машини характеризується відношенням кількості теплоти Q_2, відібраної у тіла, до виконаної при цьому роботи A: $\varepsilon = Q_2 / A$. Цей коефіцієнт може бути більше за 1. Він залежить від різниці температур нагрівача T_1 і охолоджувача T_2. У реальних холодильників коефіцієнт $\varepsilon > 3$. Таким чином, принцип дії холодильника полягає у віддачі внутрішнього тепла у навколишнє середовище, у результаті чого повітря в камері охолоджується. Цей процес називають "цикл Карно". Саме тому продукти, які зберігаються у холодильнику, довгий час не псуються завдяки постійно підтримуваній низькій температурі.

Холодильники із системою ноу-фрост (no frost) – це прилади нового покоління, більш зручні в користуванні. Завдяки безперервному процесу циркуляції холодного повітря усередині камери волога, що намерзає на стінках, відтає і стікає в піддон, звідки вона знову випаровується. Звичайні ж побутові холодильники з випарником крапельного типу необхідно періодично розморожувати, щоб іній, намерзлий на стінці камери, не заважав подальшій роботі агрегату.

4.3. Явище електромагнітної індукції та генератори електричного струму

Між електричними та магнітними явищами існує тісний взаємозв'язок. Рух електричних зарядів породжує магнітне поле. Виявилося, що магнітне поле, яке змінюється, може викликати в провіднику рух електричних розрядів і відповідний йому струм називається *індукційним*. Це однозначно довів дослід великого англійського вченого Майкла Фарадея (1791–1867). У досліді Фарадея в соленоїд, замкнений на чутливий гальванометр, всувався (чи висувався) постійний магніт, тобто магнітний потік, що пронизує витки соленоїда, змінювався. При цьому стрілка гальванометра відхилялася, тому у провіднику виникав *індукційний струм* (рис. 4.25,а) [10].

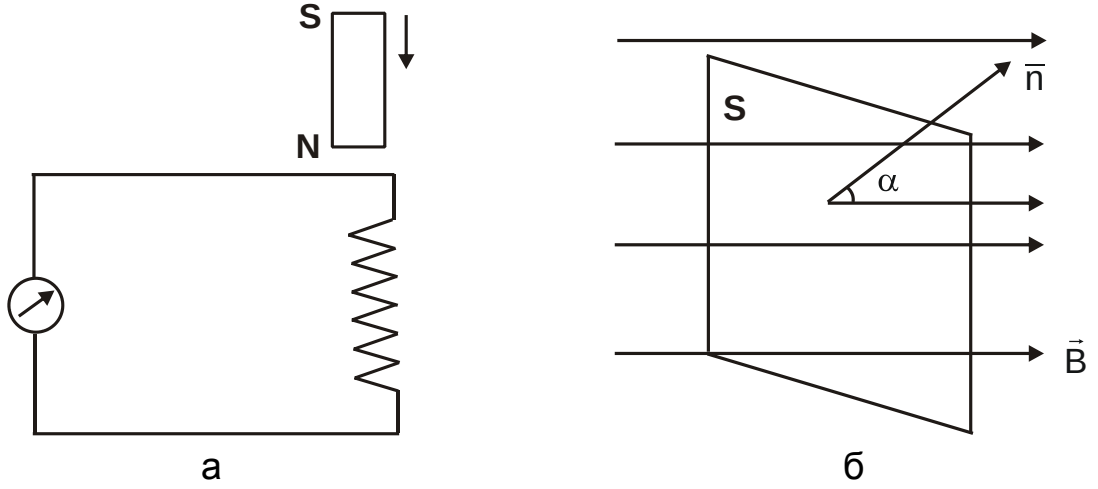


Рисунок 4.25 – Схема досліду Фарадея (а)
і розрахункова схема магнітного потоку (б)

Отже, за всякою зміною магнітного провідника, що пронизує контур замкненого провідника, в останньому виникає електричний струм,

який існує протягом усього періоду зміни магнітного потоку. У цьому і полягає один із найважливіших законів природи – *закон електромагнітної індукції.*

Електоророрушійну силу, яка виникає в провіднику під час індукції, прийнято називати *електоророрушійною силою індукції.*

Виходячи із цього, закон електромагнітної індукції можна виразити в загальній формі: за всякою зміною магнітного потоку, що пронизує контур провідника, в цьому контурі провідника виникає електоророрушійна сила індукції.

Для визначення напряму індукційного струму в провіднику зручно користуватися *правилом правої руки*: якщо розмістити долоню правої руки так, щоб до неї входили силові лінії магнітного поля, а відставлений на 90° великий палець спрямувати в напрямі руху провідника, то положення чотирьох пальців руки визначить напрям індукційного струму в провіднику.

Магнітний потік (потік вектора індукції магнітного поля), що пронизує плоску поверхню площею S, дорівнює:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha, \tag{4.7}$$

де α – кут між вектором $\vec{B}$ і нормаллю до площі $\bar{n}$ (рис. 4.25,б).

Тоді *закон Фарадея* формулюється так: електрорушійна сила електромагнітної індукції в контурі пропорційна швидкості зміни магнітного потоку крізь поверхню контуру:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}, \tag{4.8}$$

де L – індуктивність контуру.

Індуктивність контуру – це величина, що характеризує магнітні властивості контуру.

Коефіцієнт пропорційності між магнітним потоком і силою струму дорівнює:

$$\Phi = L \cdot I. \tag{4.9}$$

Для соленоїда довжиною l та кількістю витків N маємо:

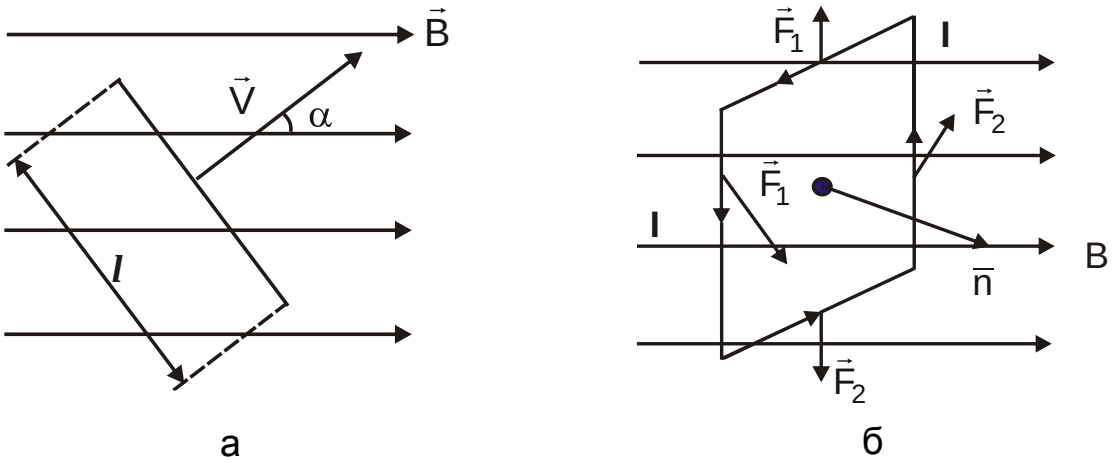
$$L = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot S, \tag{4.10}$$

де $[L] =$ Генрі, $[L] =$ Гн.

Фізичний зміст знака "мінус" у законі Фарадея визначається *правилом Ленца*: магнітне поле індукційного струму протидіє будь-якій зміні магнітного потоку, що викликає цей індукційний струм.

Під час рівномірного руху провідника довжиною l із швидкістю $\vec{V}$ в однорідному магнітному полі з індукцією $\vec{B}$ та кутом α між векторами $\vec{V}$ і $\vec{B}$ на кінцях провідника виникає електрорушійна сила індукції (рис. 4.26,а):

$$\varepsilon = B \cdot V \cdot l \cdot \sin\alpha . \qquad (4.11)$$



а б

Рисунок 4.26 – Виникнення електрорушійної сили в рухомому провіднику (а) і рамка із струмом у магнітному полі (б)

Розглянемо поведінку рамки із струмом у магнітному полі. Нехай у однорідному магнітному полі знаходиться квадратна рамка із провідника, яким протікає електричний струм I. На кожну із сторін рамки діятиме сила Ампера $F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin\alpha$. Однак сили F_1 і F_2 лежать в одній площині (рис. 4.26,б) і урівноважують одна одну.

До бокових сторін рамки сила Ампера буде спрямована вздовж дотичної, тобто сила буде створювати крутний момент $M_{кр}$:

$$M_{кр} = P_м \cdot B \cdot \sin\alpha , \qquad (4.12)$$

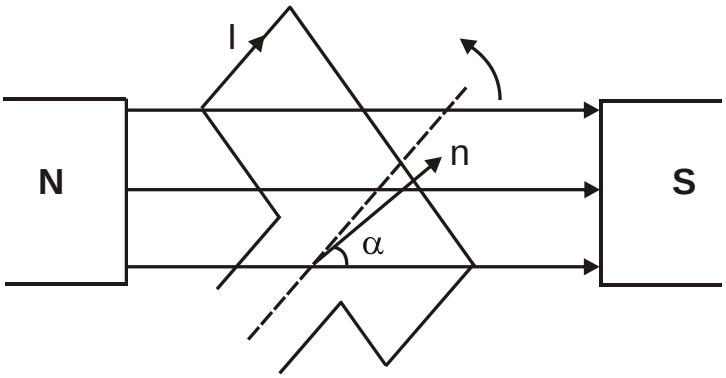
де α – кут між нормаллю до рамки та вектором $\vec{B}$;

$\vec{P}_м = I \cdot S \cdot \vec{n}$ – магнітний момент рамки.

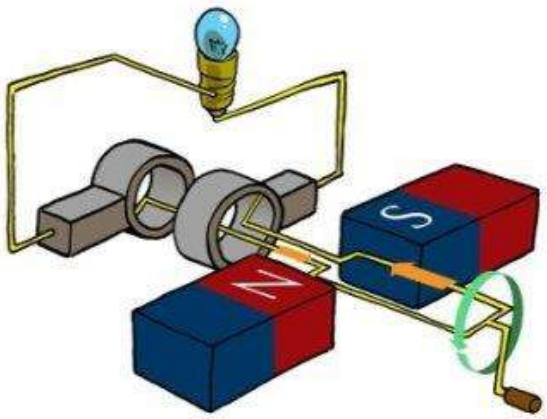
Отже, така рамка в магнітному полі обертатиметься, і вона є прообразом електродвигуна. Якщо ж квадратну рамку розташувати між полюсами магніту і змусити її обертатися (рис. 4.27), то, оскільки магнітний потік $\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$, що пронизує рамку, змінюватиметься, у ній, відповідно із законом Фарадея, виникне електрорушійна сила:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{B \cdot S \cdot d \cdot \cos\alpha}{dt}, \qquad (4.13)$$

та індукційний струм буде змінним, тобто синусоїдальним струмом.



а



б

Рисунок 4.27 – Схематичне зображення (а) та структурна схема (б) роботи генератора електричного струму

Найпростіший індукційний генератор змінного струму (рис. 4.28) є металеве осердя, в пази якого вкладено обмотку (дротяну рамку 2). Кінці обмотки з'єднано із кільцями 3, до кожного із яких притиснута щітка 4 для відведення напруги до споживача. Осердя із обмоткою обертається в магнітному полі нерухомого постійного магніту 1 або електромагніту. Обертову частину генератора називають *ротором*, а нерухому частину – *статором*.

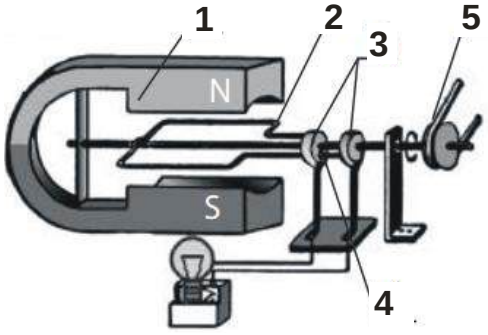


Рисунок 4.28 – Будова найпростішого генератора змінного струму

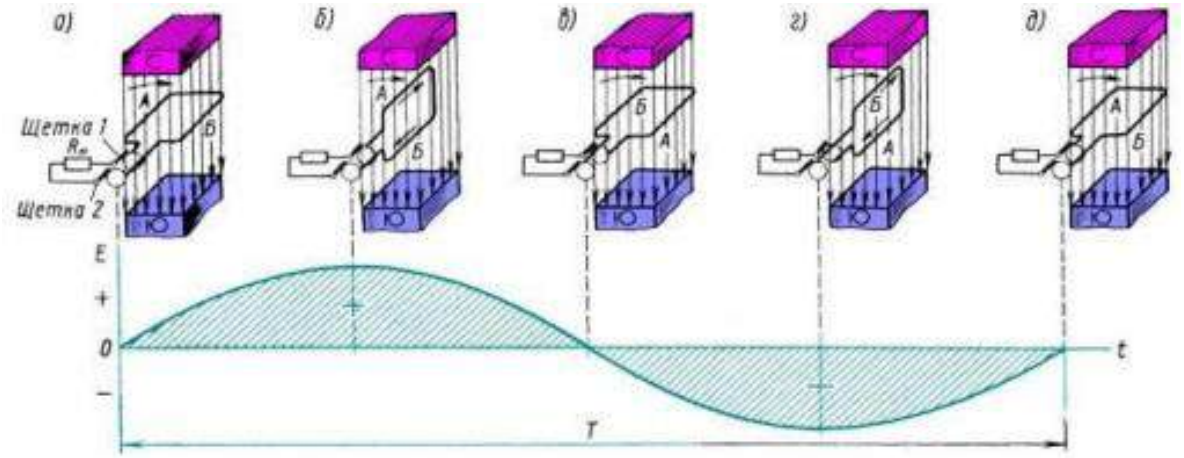
Спосіб отримання змінного струму

Для перетворення механічної енергії в електричну, необхідно енергію руху перетворити в електричний струм.

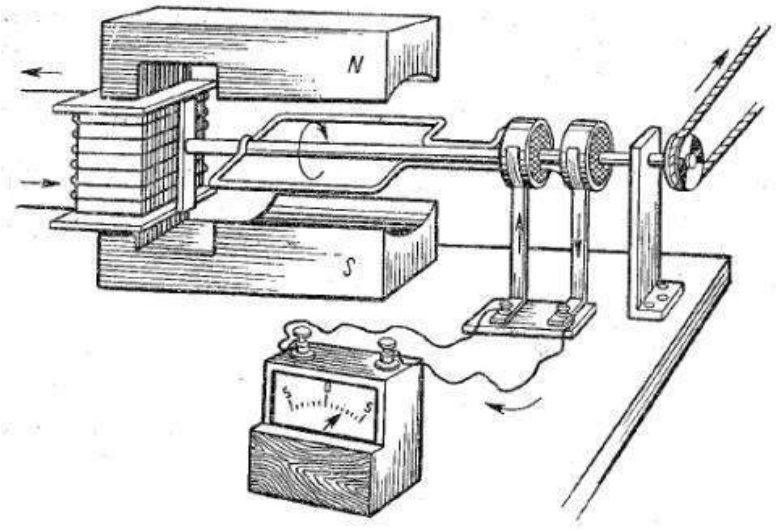
Електричний струм збуджується шляхом електромагнітної індукції.

Явище виникнення електричного струму в провіднику, який перетинає магнітні лінії, називається *електромагнітною індукцією*, а струм, що виник, *індукційним струмом*. Індукційний струм є теж саме, що і упорядкований рух електронів. Назва "індукційний струм" указує тільки на причину його виникнення.

Припустимо, є рамка із матеріалу, що проводить струм (рис. 4.29). Помістимо її в магнітне поле. Якщо рамку почати обертати, то через неї потече електричний струм. За умови рівномірного обертання на кінцях цієї рамки з'явиться змінний синусоїдальний струм (рис. 4.30).



а



б

Рисунок 4.29 – Характер зміни електричного струму із часом

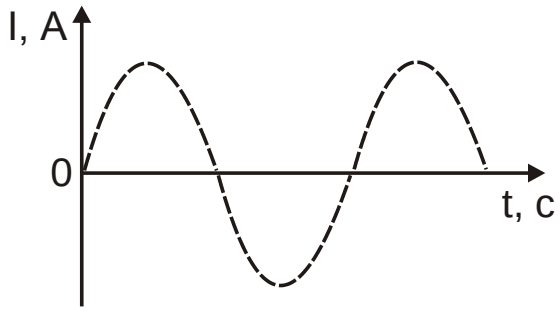


Рисунок 4.30 – Залежність сили змінного синусоїдального струму I від часу t

Проміжок часу, протягом якого електрорушійна сила здійснює одне повне коливання, називають *періодом змінного струму* T. Число повних коливань за 1 с називається *частотою струму* і позначається буквою f. Одиницю частоти називають *Герц* (*Гц*):

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{або} \quad T = \frac{1}{f}. \tag{4.14}$$

Характер зміни електрорушійної сили:

$$\varepsilon(t) = E_м \cdot \sin\frac{2\pi}{T}t. \tag{4.15}$$

У промисловості і побуті застосовують змінний електричний струм частотою в 50 Гц, тривалість періоду такого струму становить 0,02 с.

Отже, явище електромагнітної індукції дозволяє перетворити енергію механічного руху на енергію електричного струму і створити генератор електричного струму. Таким чином можна стверджувати, що Майкл Фарадей є засновником *електротехніки.*

Відкриттям електромагнітної індукції був остаточно встановлений нерозривний зв'язок між електричним струмом і магнітним полем.

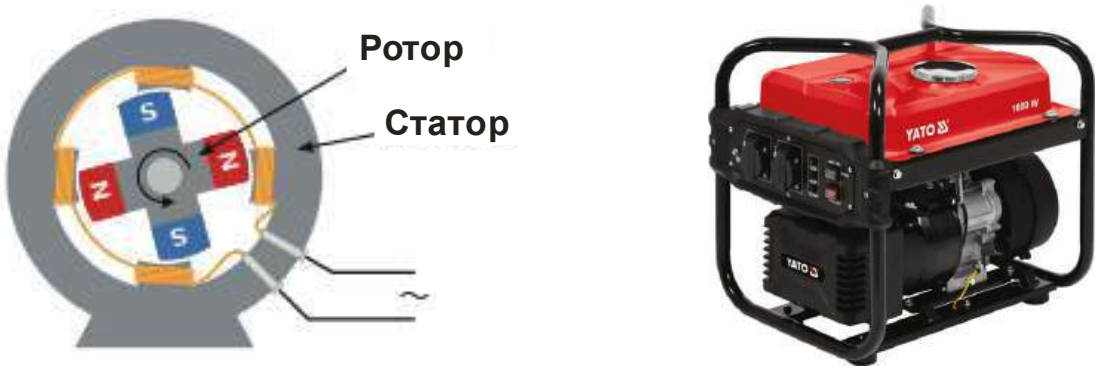
Машини, які перетворюють механічну енергію в енергію електричного струму, називаються *генераторами*. Дія їх ґрунтується на явищі електромагнітної індукції.

Оскільки за допомогою рухомих контактів практично неможливо відводити від генератора струм високої напруги через сильне іскріння в рухомих контактах, то обмотку (якір) – у якій індуктується електрорушійна сила – встановлюють нерухомо, а обертатися примушують магнітну систему (індуктор).

Нерухома частина цієї машини називається *статором*, а рухома – *ротором*.

Практичне застосування генератора змінного струму

Генератор змінного струму – це система із нерухомого статора Inducido (складається із станини, сталевого осердя та обмотки) і ротора Inductor (електромагніт із сталевим осердям), який обертається всередині нього (рис. 4.31).



а б

Рисунок 4.31 – Схема генератора змінного струму (а)
і сучасний бензиновий генератор електричного струму (б)

Генератор змінного струму є електричним генератором, який перетворює механічну енергію (вітру, пари під тиском, рухомої води, двигуна внутрішнього згоряння, електродвигуна, сили людини) на електричну, у вигляді змінного струму.

Крізь два контактних кільця, до яких притиснуті ковзаючі контакти-щітки, проводиться електричний струм. Електромагніт створює магнітне поле, яке обертається з кутовою швидкістю обертання ротора, та збуджує в обмотці статора, електрорушійну силу (ЕРС).

Щоб ротор обертався і створював магнітне поле, яке викликає у статорі ЕРС індукції, йому треба надавати енергію. В електростанціях ротор може обертатися за допомогою: стисненої пари (ТЕС та АЕС), рухомої води (ГЕС, припливні електростанції) або сили вітру (вітрові електростанції).

Генератори на електростанціях, що обертаються паровими турбінами, називають турбогенераторами, керовані гідротурбінами – гідрогенераторами, а приведені вітром – вітрогенераторами.

Для живлення бортової мережі на сучасних (станом на початок XXI століття) літальних апаратах, найчастіше використовують генератори змінного струму частотою 400 Герц.

У техніці і технологічних процесах (під час зварювання металів) застосовують генератори постійного струму (випрямлячі). Їх дія заснована на застосуванні приладів, що мають односторонню провідність. Наприклад, напівпровідникові випрямлячі, у яких опір різний залежно від знаку (полярності) прикладеної напруги. За позитивним потенціалом на напівпровіднику електричний струм проходить через випрямляч, а за негативним потенціалом струм не проходить (рис. 4.32). Також застосовують спеціальний механічний пристрій для перемикання – *колектор*.

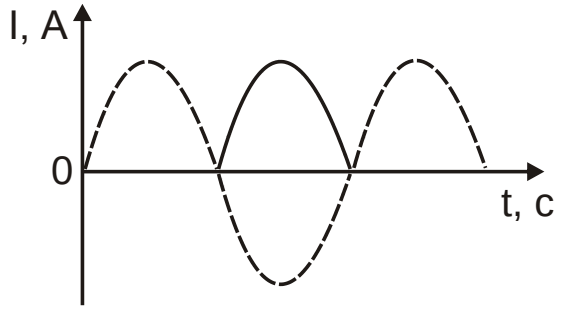


Рисунок 4.32 – Характер утворення постійного електричного струму

Широкий спектр застосувань у різних галузях науки та техніки, включаючи електроніку, медицину, обробку матеріалів, телекомунікації тощо, має *імпульсний струм* – це вид електричного струму, який періодично складається із короткочасних високочастотних порцій або імпульсів. У медицині часто використовують імпульсний струм, який складається із регулярно повторюваних імпульсів струму постійного напряму і різної форми, таких як прямокутні, трапецієподібні, трикутні, експоненційні (струми Лапіка), або синусоїдальні імпульси. Основними характеристиками імпульсного струму є величина амплітуди, тривалість, період або частота повторення, а також форма імпульсів. Імпульсний струм може бути згенерований різними способами, включаючи використання спеціальних генераторів імпульсів та напівпровідникових пристроїв.

Застосування імпульсного струму:

- електроніка: тестування електронних компонентів і систем для виявлення дефектів та вимірювання їх параметрів. Випробування напівпровідникових пристроїв та інтегральних схем;
- медицина: застосування імпульсного струму у фізіотерапії для лікування різних захворювань та болей. Електрокардіостимуляція для відновлення серцевого ритму;

• обробка матеріалів: електроімпульсна обробка для підвищення міцності та деформаційної стійкості матеріалів. Електроерозійна обробка для точного видалення матеріалу зі спеціальних деталей;

• телекомунікації: застосування імпульсного струму у світлових волокнах для передачі даних на великі відстані. Генерація імпульсних сигналів для радіо та мікрохвильових систем зв'язку;

• вплив на технологічні процеси: велика потужність та короткий час дії імпульсного струму може мати значний вплив на технологічні процеси. Наприклад, під час обробки матеріалів він може призвести до підвищення міцності матеріалу шляхом створення внутрішніх напружень і мікроструктурних змін, підвищення якості та продуктивності обробки. У медицині імпульсний струм може бути використаний для знеболення і стимуляції м'язів.

4.4. Процеси коливання та їх значення у створенні сучасних технологій

Коливання – це повторюваний рух об'єкта вздовж певного шляху, зазвичай, навколо фіксованої точки. У фізиці коливання відіграють ключову роль у розумінні руху та взаємодії різних систем. Коливання можна представити рухом тіл, що мають масу (механічні коливання), коливаннями частинок у хвилях (хвильові коливання) або змінами у розподілі електричних зарядів (електромагнітні коливання). Коливання можуть відбуватися вздовж прямої лінії (одномірні коливання, рис. 4.33), вздовж площини (двомірні коливання) або в просторі (тривимірні коливання). Їх характеризують рядом параметрів, таких як амплітуда, частота, період і фаза, а також амплітудно-частотним спектром під час аналізу складних коливань.

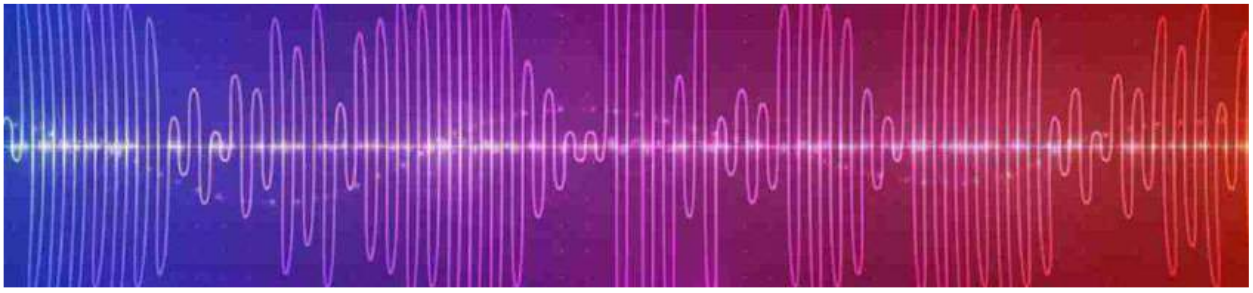


Рисунок 4.33 – Коливальні рухи

Коливання можуть бути викликані зовнішніми силами, резонансом, електромагнітними полями, акустичними хвилями тощо. Вони є основним поняттям в фізиці. Їх широко використовують для аналізу різних явищ в природі та техніці.

Механічні коливання виникають у тілах, які мають масу та можуть рухатися навколо фіксованої точки. Найпростіший приклад – це маятник, який рухається вздовж дуги під дією гравітаційної сили. Такі коливання широко використовують у механіці, наприклад, у годинниках та інших точних вимірювальних пристроях.

Хвильові коливання передають енергію через простір, поширюючись у середовищі або вакуумі. *Звук* – це один із типів хвильових коливань, який можемо сприймати. Електромагнітні хвилі, такі як світло і радіохвилі, є також прикладами хвильових коливань, які грають ключову роль у технології та телекомунікаціях.

Електромагнітні коливання пов'язані з рухом заряджених частинок, таких як електрони, які породжують електромагнітні хвилі, що охоплюють великий діапазон від радіохвиль до рентгенівського випромінювання. Сучасна технологія використовує електромагнітні коливання для передачі інформації, освітлення, медичної діагностики та безлічі інших застосувань. Коливання у техніці відіграють ключову роль у розробленні та функціонуванні різноманітних технічних пристроїв і систем. Наприклад, аеро- та космічні технології коливання контролюють стабільність і поведінку об'єктів у небезпечних умовах.

1. Механічні коливання:

- годинники та годинникові механізми: механічні коливання годинникового маятника або кварцового резонатора у годиннику є основою точного вимірювання часу;
- автомобільні системи: амортизатори та пружини в автомобілях забезпечують комфортну поїздку та поглиблюють стійкість шляху, контролюючи механічні коливання.

2. Електромагнітні коливання:

- радіо- та телевізійна техніка: електромагнітні коливання в антенах та електронних схемах визначають якість та дальність передачі сигналу;
- мобільні пристрої: коливання відповідають на доторкання до екрану або на сигнал дзвінка, що надійшов;
- магнітно-резонансна томографія (МРТ): електромагнітні коливання використовують для отримання детальних зображень внутрішніх органів.

3. Акустичні коливання:

- аудіо та музична техніка: акустичні коливання в динаміках гучномовців передають звукові хвилі, що є основою аудіосистем;
- медична акустика: ультразвукові коливання використовують в області медицини для зображення внутрішніх органів та діагностики.

4. Коливання в електроніці:

- інформаційні технології: використання електронних годинників та частотних генераторів для синхронізації технічних процесів;
- промисловість мікросхем: коливання в електронних ланцюгах дозволяють виконувати різні функції в сучасних мікросхемах та процесорах.

5. Застосування коливань в медицині та біології

Медичні застосування коливань охоплюють широкий спектр техніки і технологій, в яких коливання використовують для діагностики, лікування та дослідження різних станів та захворювань. Це ультразвукова діагностика, терапевтичне використання ультразвуку, магнітно-резонансна томографія (МРТ), електрокардіографія (ЕКГ) тощо.

Електрокардіограму використовують для вимірювання ритму серця та виявлення аномалій (рис. 4.34,а). Ультразвук допомагає визначити стан плода та діагностувати різні захворювання (рис. 4.34,б). Біосенсор використовують для вимірювання біологічних показників (рис. 4.35).



а б

Рисунок 4.34 – Використання електрокардіографії (а) та ультразвуку (б)

Медичні застосування коливань мають місце у безлічі областей, і вони є важливим інструментом для діагностики, лікування та дослідження в галузі медицини. Застосування нових технологій у цій області продовжує розширювати можливості діагностики та лікування.

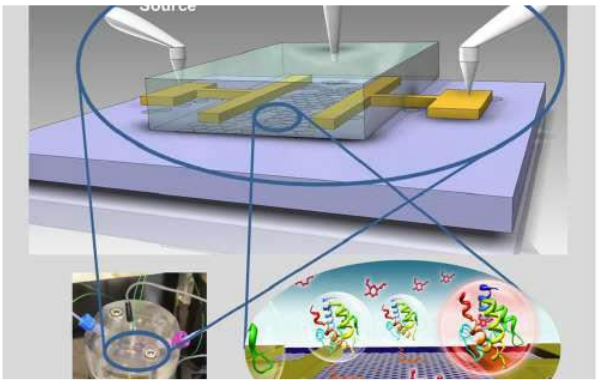


Рисунок 4.35 – Використання біосенсора

6. Коливання у виробництві

У виробництві коливання знаходять широке застосування у різноманітних процесах та системах.

Обладнання та машини

- балансування: у виробництві важливо, щоб рухомі частини машин та обладнання були в балансі, оскільки небаланс може викликати коливання, шум та збої в роботі обладнання;
- вібраційний контроль: вимірювання та контроль вібрацій машин є інструментом для прогнозування руйнування та вдосконалення підтримки обладнання.

Технологічні процеси

- фрезерування та токарна обробка: у точному виробництві важливо контролювати коливання інструментів під час обробки матеріалів для досягнення точності та якості виробів;
- лазерне різання: використання лазерних технологій вимагає стабільності та контролю коливань для точності та надійності.

Транспортування і логістика

- коливання транспортних засобів: в умовах транспортування важливо управляти коливаннями, оскільки вони можуть впливати на цілісність та якість транспортованого товару;
- системи вантажозбереження: виготовлення та використання систем, які зменшують коливання вантажу під час транспортування, сприяє збереженню та захисту товарів.

Контроль якості

- дефектоскопія: коливання можуть вказувати на наявність дефектів або несправностей у виробах, що використовуються для визначення якості та прийняття рішень щодо відпуску продукції;

• метрологічні системи: вимірювання та контроль вібрацій важливі для точного вимірювання та виробництва продукції.

Автоматизація та роботизація

• коливання роботів: під час роботизованих операцій важливо контролювати коливання робочих органів роботів для запобігання випадкам пошкодження або неефективності;

• використання роботів у складних умовах: роботизація у виробництві може вимагати управління коливаннями, особливо під час роботи в умовах високої напруженості

7. Коливання у природі

Природа пропонує безліч прикладів коливань, від пульсуючих припливів та відпливів до коливань температури та клімату. Інші приклади включають коливання росту рослин, цикли життєвого циклу тварин та коливання крил птахів та комах.





8. Коливання у мистецтві та музиці

Розташування музичних нот на нотному стані вказує на частоту та тривалість. Застосування вібрафона звучання – унікального музичного інструменту, який використовує коливання для створення звуку. Синтезатори базуються на створенні та контролі широкого спектру коливань для генерації різних звуків.

4.5. Теоретичні основи механічних коливань

Зменшити інтенсивність коливань машин і вузлів можна зменшенням резонансних явищ, підвищенням стійкості, зменшенням кількості рухомих деталей, поглинанням коливань і шуму. Для цього необхідно знати джерела та види коливань, які можна визначити на основі математичних моделей конструкцій вузлів, математичних моделей процесів, експериментальних досліджень коливань [70, 73, 96].

Із механікі відомо, що коливання можуть бути вільними, вимушеними, автоколиваннями та спричиненими ударом.

Вільні коливання відбуваються системою без припливу енергії ззовні, тобто систему виведено із стану спокою та надано самій собі.

Вимушені коливання виникають від дії на систему зовнішньої сили, що змінюється в часі. Вимушені коливання здійснюють такі частини машин, як диски і лопатки турбін, крила літаків, колінчасті вали двигунів, лопасті гвинтів пароплавів. Такі коливання, якщо не вжити відповідних запобіжних заходів можуть призвести до руйнування машини в цілому, а іноді до небезпечних аварій. За статистикою 80% руйнувань і аварій у машинобудуванні є наслідком резонансних явищ. Вимушені коливання використовують у будівництві та інженерії для діагностики структур та матеріалів. Отже, вимушені коливання – це важлива та цікава частина фізики, яка знаходить своє застосування в різних галузях науки ы техніки. Розуміння основних концепцій та властивостей вимушених коливань дозволяє досягти більшої ефективності в численних технологічних процесах.

Автоколивання – це стійкі коливальні процеси, які підтримуються за рахунок джерел енергії неколивального характеру (наприклад, коливання прапора на державці під дією повітряної маси – неколивального характеру).

Удар – це швидкоплинний процес, пов'язаний із різкою зміною швидкостей та сил.

Коливання можуть бути *вигінні* або *поперечні*, наприклад, вал працює на вигін. Можуть бути *крутильні* коливання валу – коли спеціально у конструкції машини використовують вали, що працюють на кручення. Можуть бути коливання *стиску – розтяганню*, наприклад, різних стержнів, балок та інших конструктивних елементів.

Розглянемо випадок вигинних коливань стержня, який на одному кінці жорстко затиснутий, а другий кінець у нього вільний.

Для зручності аналізу коливань, зазвичай, розрахункову схему спрощують. У даному випадку можна перейти до схеми коливань маси m, що утримується на пружині жорсткістю c (рис. 4.36). Якщо масу вивести із стану спокою, а потім відпустити, то вона почне коливатися.

Вільні коливання

Складемо рівняння рівноваги коливальної системи:

$$-c \cdot x = m \cdot \ddot{x} \qquad (4.16)$$

або

$$\ddot{x} + p^2 \cdot x = 0, \qquad (4.17)$$

де x – переміщення маси m, м;

$(-c \cdot x)$ – реакція пружини, Н;

$m \cdot \ddot{x}$ – сила інерції, Н;

$\ddot{x}$ – прискорення, м/с^2;

$p = \sqrt{c/m}$ − власна частота системи, с$^{-1}$;

c − жорсткість пружини, Н/м.

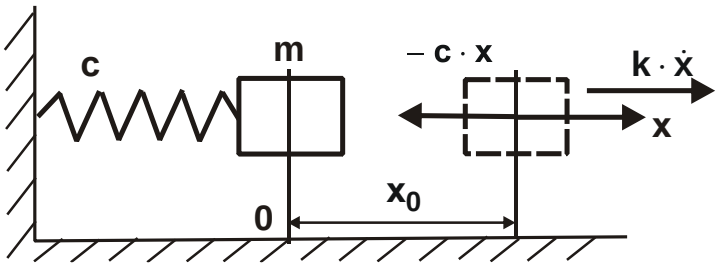


Рисунок 4.36 – Розрахункова схема параметрів механічних коливань

У результаті отримано диференційне рівняння другого порядку без правої частини. Його рішення:

$$x = C_1 \cdot \sin p\tau + C_2 \cdot \cos p\tau, \qquad (4.18)$$

де τ − час, с;

C_1 і C_2 − постійні інтегрування, визначаються із початкових умов:

$$\begin{cases} x(\tau = 0) = x_0; \\ \dot{x}(\tau = 0) = V_0. \end{cases} \qquad (4.19)$$

Звідки

$$\begin{cases} C_2 = x_0; \\ \dot{x} = C_1 \cdot \cos p\tau \cdot p - C_2 \cdot \sin p\tau \cdot p \end{cases} \qquad (4.20)$$

або

$$C_1 \cdot p = V_0. \qquad (4.21)$$

Тоді

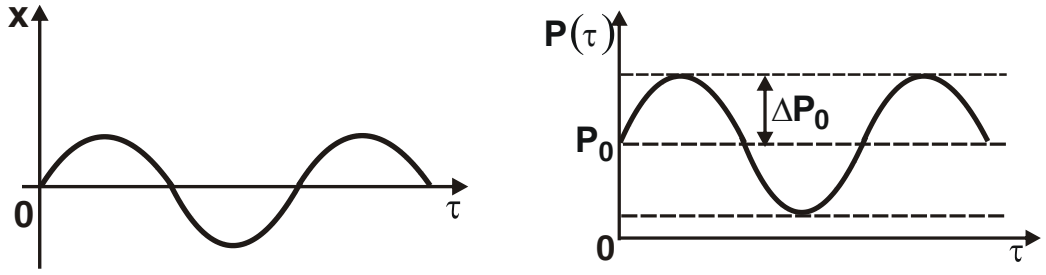
$$x = \frac{V_0}{p} \cdot \sin p\tau + x_0 \cdot \cos p\tau = A \cdot \sin(p\tau + \alpha), \qquad (4.22)$$

де $A = \sqrt{\left(\frac{V_0}{p}\right)^2 + x_0^2}$ – максимальне значення амплітуди коливань м;

$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{p \cdot x_0}{V_0}\right)$ – початкова фаза коливань.

Амплітуда коливань визначає величину максимального відхилення системи від положення рівноваги. Фазовий зсув указує на різницю у часі між коливаннями системи і зовнішньою силою.

Аналізуючи отриману залежність (4.22), можна зробити висновок: система здійснює незагасаючі вільні коливання (рис. 4.37,а). Амплітуда коливань залежить від початкових умов x_0 і V_0.



а б

Рисунок 4.37 – Незагасаючі вільні коливання (а)
і загальний вигляд зовнішньої сили (б)

Якщо в системі діє сила опору $k \cdot \dot{x}$ (рис. 4.36), то система здійснюватиме загасаючі коливання. Це витікає із рішення диференціального рівняння із урахуванням сили опору $k \cdot \dot{x}$:

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot \dot{x} + c \cdot x = 0 \qquad (4.23)$$

або

$$\ddot{x} + 2n \cdot \dot{x} + p^2 \cdot x = 0, \qquad (4.24)$$

де $n = k/(2 \cdot m)$ – коефіцієнт, що характеризує в'язкість системи.

Рішення диференціального рівняння:

$$x = e^{-n \cdot \tau} \cdot (C_1 \cdot \cos n_1 \tau + C_2 \cdot \sin n_1 \tau), \qquad (4.25)$$

де $n_1^2 = p^2 - n^2$.

Постійні інтегрування C_1 і C_2 визначають із початкових умов (4.19). У результаті залежність (4.25) остаточно набуває вигляду:

$$x = A \cdot e^{-n \cdot \tau} \cdot \sin(n_1 \tau + \alpha), \qquad (4.26)$$

де $A = \sqrt{\left(\frac{V_0 + n \cdot x_0}{n_1}\right)^2 + x_0^2}$ – максимальна амплітуда коливань, м;

$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{p \cdot x_0}{V_0 + n \cdot x_0}\right)$ – початкова фаза коливань.

Як витікає із залежності (4.26), частота коливань визначається:

$$n_1 = \sqrt{p^2 - n^2}\,. \qquad (4.27)$$

Як правило, частота n_1 мало відрізняється від частоти незагасаючих коливань p тієї ж системи, але позбавленої демпфування.

Отримане рішення (4.26) аналогічне рішенню (4.18), проте в залежності (4.26) присутній убуваючий множник $e^{-n\cdot\tau}$, тобто із часом амплітуда коливань зменшується. Отже, як правило, вільні коливання є загасаючими.

Вимушені коливання

Вважатимемо, що на систему діє зовнішня сила (гармонічна вимушена сила), рис. 4.37,б:

$$P(\tau) = P_0 + \Delta P_0 \cdot \sin\omega\tau\,, \qquad (4.28)$$

де ω – частота вимушених коливань, c^{-1}.

Складемо диференціальне рівняння вимушених коливань:

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot x = P(\tau). \qquad (4.29)$$

У результаті отримано диференційне рівняння другого порядку із правою частиною. Рішення однорідного рівняння, тобто без правої частини (із урахуванням сили опору), що описує вільні коливання (за аналогією із раніше наведеним рішенням):

$$x = e^{-n\cdot\tau} \cdot (C_1 \cdot \cos n_1\tau + C_2 \cdot \sin n_1\tau), \qquad (4.30)$$

де $n_1^2 = p^2 - n^2$.

Як видно, із часом τ амплітуда коливань x зменшується, тобто із часом вільні коливання зникають. У результаті вироджується загальне рішення (однорідного рівняння) і залишається лише часткове рішення.

Часткове рішення слід визначати у вигляді:

$$x = A + B \cdot \sin\omega\tau\,. \qquad (4.31)$$

У даному випадку величини A і B постійні, їх необхідно визначити. Для цього слід підставити часткове рішення (4.31) у диференціальне рівняння (4.29) із урахуванням перетворень часткового рішення (4.31):

$$\dot{x}(\tau) = B \cdot \cos\omega\tau \cdot \omega; \qquad (4.32)$$

$$\ddot{x}(\tau) = -B \cdot \sin\omega\tau \cdot \omega^2. \qquad (4.33)$$

У результаті диференціальне рівняння (4.29) із урахуванням залежностей (4.28) і (4.33) набуває вигляду:

$$-m\cdot B\cdot\omega^2\cdot\sin\omega\tau + c\cdot(A + B\cdot\sin\omega\tau) = P_0 + \Delta P_0\cdot\sin\omega\tau\,. \qquad (4.34)$$

Його рішення:

$$-m\cdot B\cdot\omega^2 + c\cdot B = \Delta P_0\,; \qquad (4.35)$$

$$c\cdot A = P_0\,. \qquad (4.36)$$

Звідки

$$B = \frac{\Delta P_0}{\left(c - m\cdot\omega^2\right)} = \frac{\Delta P_0}{m\cdot\left(\frac{c}{m} - \omega^2\right)} = \frac{\Delta P_0}{m\cdot\left(p^2 - \omega^2\right)}; \qquad (4.37)$$

$$A = \frac{P_0}{c}\,. \qquad (4.38)$$

У результаті часткове рішення набуває вигляду:

$$x = \frac{P_0}{c} + \frac{\Delta P_0}{\left(p^2 - \omega^2\right)\cdot m}\cdot\sin\omega\tau\,. \qquad (4.39)$$

За умови $P_0 = 0$ рішення спрощується:

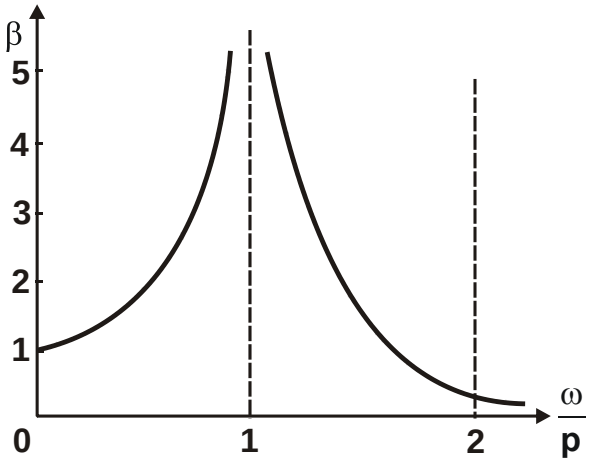


Рисунок 4.38 – Амплітудно-частотна характеристика системи

$$x = \frac{x_{стат}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)}\cdot\sin\omega\tau\,, \qquad (4.40)$$

де $x_{стат} = \frac{\Delta P_0}{c}$.

Величина $\beta = 1/\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)$, що входить у залежність (4.40), є коефіцієнтом динамічності системи.

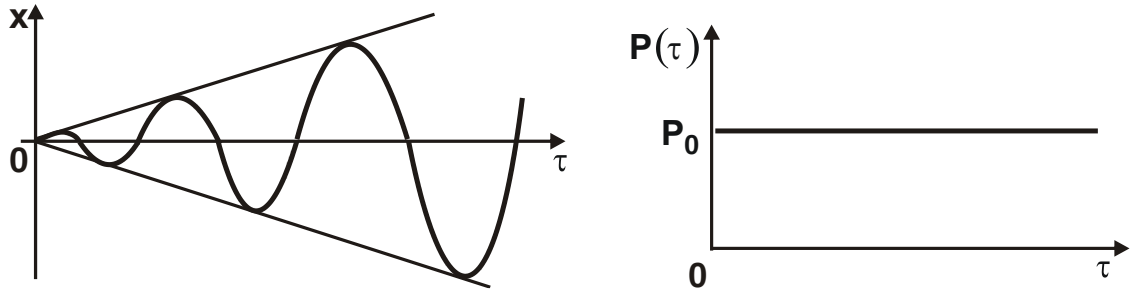
Використовуючи отримане рішення, на рис. 4.38 графічно представлено амплітудно-частотну характеристику системи із урахуванням коефіцієнта динамічності $\beta = 1/\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)$. Як видно, за умови $\omega/p \to 1$ настає резонанс і амплітуда коливань x набуває нескінченного значення ($x \to \infty$).

Резонансом називається явище, яке полягає у різкому зростанні амплітуди вимушених колівань тіла, коли частота змін вимушеної сили

дорівнює частоті власних колівань тіла. Цю частоту називають *резонансною частотою*.

За умови $\omega/p > 1$ коефіцієнт динамічності $\beta = 1/\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)$ менше одиниці, тобто система як би не встигає зреагувати на дію сили. У цьому випадку підвищується вібростійкість механічної системи.

Характер зміни амплітуди коливань x із часом у резонансному режимі, тобто за умови $\omega/p = 1$, показано на рис. 4.39,а. Як видно, збільшення амплітуди коливань x відбувається не миттєво, а з часом.



а б

Рисунок 4.39 – Характер зміни амплітуди коливань x із часом τ у резонансному режимі (а) і загальний вигляд миттєво прикладеної сили $P(\tau)$ (б)

Зазвичай, у працюючих машинах та механічних системах реалізується випадок $\omega/p < 1$. Виникає питання, як можна зменшити амплітуду коливань, використовуючи отримане рішення?

1. Необхідно зменшити відношення $\omega/p \to 0$ (уникнути резонансу):

- шляхом зменшення частоти дії зовнішнього навантаження ω;
- збільшенням власної частоти системи $p = \sqrt{c/m}$ шляхом збільшення жорсткості всіх з'єднань вузлів у машині (зменшення кількості ланок у загальному конструктивному ланцюгу машини), а також збільшенням мас рухомих елементів m.

2. Усунути джерела вимушених коливань у машині можна:

- усуненням неврівноваженості мас у системі шляхом регулювання її елементів, заміни зношених деталей, усуненням биття обертових валів, осей та інших тіл обертання;
- встановленням машин на жорсткі фундаменти, виключаючи передачу коливань від інших машин і механізмів.

Розглянемо випадок дії на систему миттєво прикладеної сили $P(\tau)$, рис. 4.39,б. Для цього складемо диференціальне рівняння рівноваги:

$$-c \cdot x + P_0 = m \cdot \ddot{x} \qquad (4.41)$$

або

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot x = P_0. \qquad (4.42)$$

Приймемо часткове рішення рівняння у вигляді:

$$x = A. \qquad (4.43)$$

Після підстановки часткового рішення (4.43) у диференціальне рівняння рівноваги (4.42), отримано:

$$A = \frac{P_0}{c} = x_{стат}, \qquad (4.44)$$

де $x_{стат}$ – статичне переміщення маси m від дії сили P_0.

Загальне рішення диференціального рівняння:

$$x = C_1 \cdot \sin p\tau + C_2 \cdot \cos p\tau + x_{стат}, \qquad (4.45)$$

де $p = \sqrt{c/m}$ – власна частота системи, $с^{-1}$.

Постійні C_1 і C_2 визначаються із початкових умов:

$$\begin{cases} x(\tau = 0) = 0; \\ \dot{x}(\tau = 0) = 0. \end{cases} \qquad (4.46)$$

Звідки $C_1 = 0$; $C_2 = -x_{стат}$.

Тоді загальне рішення диференціального рівняння набуває вигляду (рис. 4.40):

$$x = x_{стат} \cdot (1 - \cos p\tau). \qquad (4.47)$$

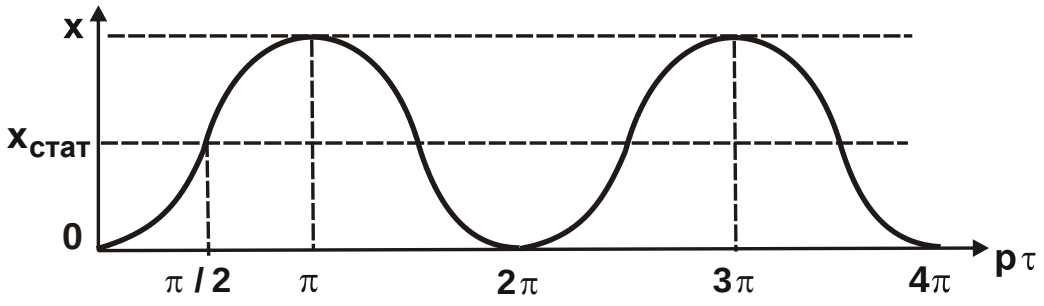


Рисунок 4.40 – Характер зміни в часі переміщення x

У цьому випадку максимальна амплітуда коливань дорівнює $x_{max} = 2 \cdot x_{стат}$, тобто коефіцієнт динамічності дорівнює $\beta = 2$.

Під час дії короткочасної сили, наприклад, під час виконання умов $p\tau < \pi/2$ і $x << x_{стат}$, система не встигає відреагувати на імпульс сили

та отримати переміщення, що дорівнює статичному переміщенню $x_{стат}$. Це явище дозволяє суттєво підвищити вібростійкість механічної системи і широко застосовується на практиці. Наприклад, в умовах швидкого руху автомобіль фактично не реагує на нерівності дороги, якою він рухається, і зберігає вібростійкий стан.

Розглянемо ще одне завдання щодо впливу дії періодичних імпульсів на інтенсивність коливань механічної системи (рис. 4.41).

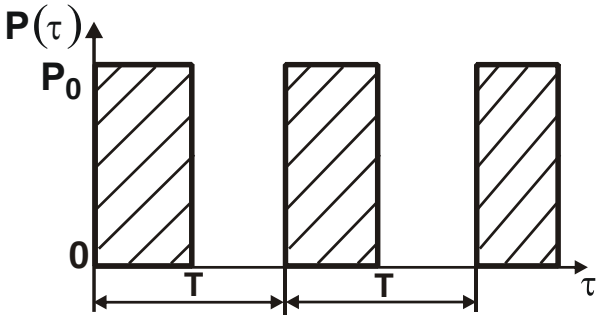


Рисунок 4.41 – Характер дії періодичних імпульсів

Вирішуючи це завдання аналогічно попередньому завданню, встановлено коефіцієнт динамічності β:

$$\beta = \frac{1}{2 \cdot \left| \sin \frac{\pi p}{\omega} \right|}, \tag{4.48}$$

де p – власна частота системи, $с^{-1}$;

ω – частота дії імпульсів, $с^{-1}$.

Як видно, у даному випадку може бути не один, а безліч резонансів за умови $\beta \to \infty$:

$$\sin \frac{\pi p}{\omega} = 0. \tag{4.49}$$

Звідки $\frac{\pi \cdot p}{\omega} = \pi \cdot z$. Відповідно, $p = z \cdot \omega$, де $z = 1; 2; 3; \ldots$ Тоді

$$\frac{\omega}{p} = \frac{1}{z}. \tag{4.50}$$

За цілих значень $z = 1; 2; 3; \ldots$ відношення $\omega / p \to \infty$, тобто механічна система перебуває у резонансному стані. Тому основним шляхом усунення резонансного стану механічної системи є регулювання відношення ω / p шляхом виключення цілих значень $z = 1; 2; 3; \ldots$ у залежності (4.50).

Таким чином, отримані теоретичні рішення дозволяють обґрунтувати умови зменшення вібрацій машин і систем під час їх роботи. Ці рішення дуже важливі як під час конструювання, так і під час експлуатації та ремонту машин. Наприклад, внаслідок нерівномірностей ходу всяка машина здійснює невеликі коливання, частота яких дорівнює числу обертів вала машини за секунду. Якщо ця частота збігається із власною частотою пружних коливань, властивих різним частинам машини або опорі, на якій встановлено машину, то настане явище резонансу. Амплітуди цих вимушених коливань можуть бути такими великими, що станеться катастрофа – зруйнується машина або опора. Так, мали місце випадки коли внаслідок резонансу розваливався на частини літак у повітрі, а під дією періодичних поштовхів коліс потягу на стиках рейок обвалювався залізничний міст.

Можна також навести багато прикладів руйнування колінчастих валів машин, гребних гвинтів суден, повітряних гвинтів у літаків, причиною яких було явище резонансу. Тому в усіх таких випадках доводиться боротися із резонансом.

Проте резонанс відіграє в техніці не тільки шкідливу роль. Явище резонансу, як буде показано в подальшому, широко застосовують на практиці. Так, позитивними виявами є резонатори – підсилювачі звуку у гучномовцях; в музичних інструментах, де резонанс дозволяє створювати музику; настроювання коливальних контурів у радіозв'язку, в радіотехніці для підсилення коливань. Резонанс визначає, які частоти можна підсилити, та надає можливість відокремити сигнали даної радіостанції від інших сигналів.

4.6. Затухаючі та вимушені коливання в електричному коливальному контурі. Явище резонансу

Як показано у п. 4.5, загасанням коливань називають поступове ослаблення коливань із часом, обумовлене втратою енергії коливальної системою. Вільні коливання реальних систем завжди будуть загасаючими, оскільки у природі завжди є сили опору. Такими силами можуть бути сила тертя пружинного маятника (рис. 4.42,а) або сила електричного опору (рис. 4.42,б) в електричному коливальному контурі.

Загасаючі коливання механічної системи математично описуються залежністю (4.26), із якої витікає, що такі коливання є негармонійними,

оскільки амплітуда коливань зменшується (рис. 4.43,а). Частота цих коливань, виходячи із залежності (4.27), менше частоти вільних коливань.

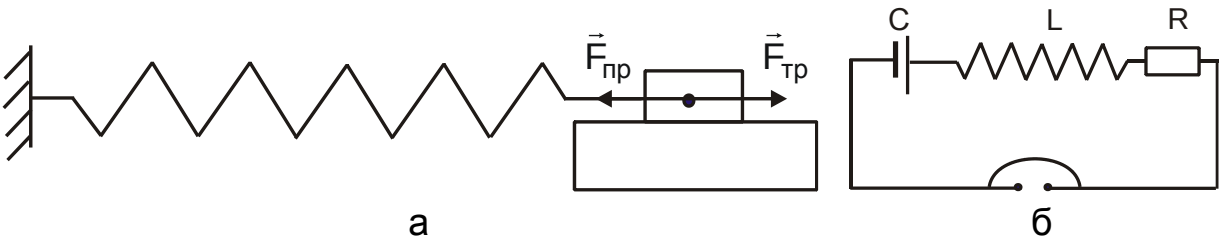


Рисунок 4.42 – Сила тертя у пружинному маятнику (а)
і електричний опір у коливальному контурі (б)

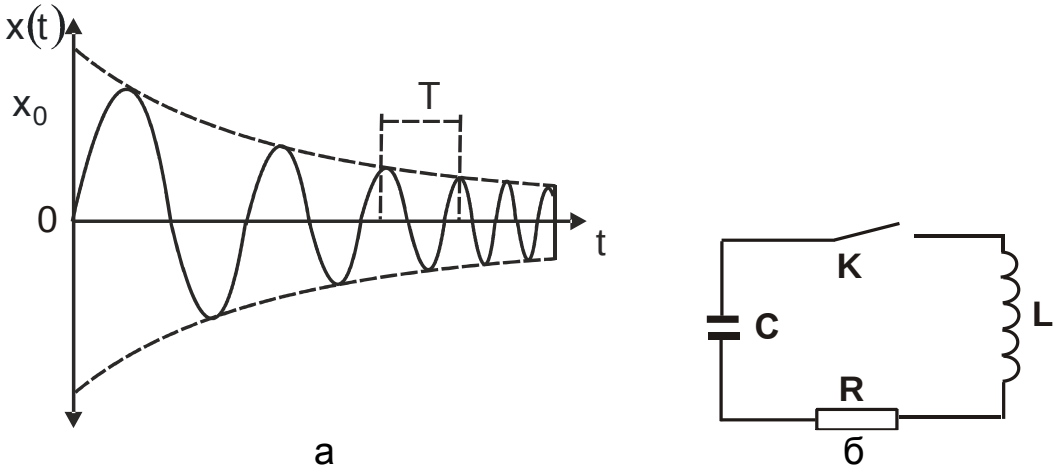


Рисунок 4.43 – Графічне зображення загасаючих коливань із часом t (а)
і послідовний коливальний контур (б)

Для аналізу коливань в електричному коливальному контурі розглянемо простий коливальний контур, який складається з послідовно з'єднаних ємності C, індуктивності L і активного опору R (рис. 4.43,б).

Очевидно, із підключенням зарядженого конденсатора до котушки індуктивності виникаючі електромагнітні коливання з часом згасають внаслідок втрат енергії через нагрів активного опору контуру.

На підставі закону Ома для повного кола можна написати [10]:

$$I \cdot R + U = \varepsilon, \qquad (4.51)$$

де I – струм у коливальному контурі, А;

U – напруга на конденсаторі, В;

ε – електрорушійна сила (ЕРС) у котушці індуктивності, В;

R – активний опір контуру, Ом.

Можна показати, що коливання у контурі описуються диференціальним рівнянням другого порядку. Дійсно, із виразу для визначення

електрорушійної сили ε із використанням співвідношення для заряду на пластинах конденсатора та для сили струму в колі, отримано:

$$q = C \cdot U, \tag{4.52}$$

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{C \cdot dU}{dt}. \tag{4.53}$$

Враховуючі, що $\varepsilon = -L \cdot \frac{dI}{dt}$ маємо:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 \cdot U = 0, \tag{4.54}$$

де $\beta = \frac{R}{2 \cdot L}$;

$\omega_0^2 = \frac{1}{L \cdot C}$.

Рішенням рівняння (4.54) за умови $\beta < \omega_0$ є вираз:

$$U = U_m \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega t + \varphi), \tag{4.55}$$

де $U_m \cdot e^{-\beta t}$ – амплітуда коливань у контурі;

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота коливань у контурі.

Звідки можна визначити силу електричного струму у контурі:

$$I = \frac{C \cdot dU}{dt} = C \cdot U_m \cdot \omega \cdot e^{-\beta t}\left[\cos(\omega t + \varphi) - \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\omega t + \varphi)\right]. \tag{4.56}$$

За слабкого загасання $\beta << \omega_0$ другим доданком можна нехтувати. Тоді сила електричного струму у контурі визначиться залежністю:

$$I = I_m \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \varphi), \tag{4.57}$$

де $I_m = C \cdot U_m \cdot \omega$.

Як видно, у контурі відбуваються загасаючі коливання, оскільки амплітуда сили електричного струму $I_m \cdot e^{-\beta t}$ зменшується із часом t.

Таким чином, за умови $\beta < \omega_0$ або $R < R_{кр}$, де $R_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ – критичний опір, коливальний процес є періодичним.

Період коливань струму або напруги визначається залежністю:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2 \cdot L}\right)^2}}. \tag{4.58}$$

Характер зміни напруги U від часу t аналогічний характеру зміни амплітуди механічних коливань від часу t , показаному на рис. 4.43,а.

Зі збільшенням опору R загасання коливань відбувається швидше і, нарешті, за умови $R < R_{кр}$ коливання взагалі не виникають – спостерігається аперіодичний розряд конденсатора.

Важливою характеристикою загасаючих коливань є логарифмічний декремент загасання $\lambda = \beta \cdot T$, або:

$$\lambda = \ln\left[\frac{a(t)}{a(t+T)}\right]. \qquad (4.59)$$

де $a(t)$ – амплітуда коливань напруги або струму.

Коливальний процес можна досліджувати на основі аналізу залежності U від I. Крива, що зображує цю залежність, є фазовою кривою.

Якщо $\beta << \omega_0$ ($R << R_{кр}$), то можна отримати:

$$\left(\frac{U}{U_m}\right)^2 + \left(\frac{I}{I_m}\right)^2 = e^{-2\beta t}. \qquad (4.60)$$

Отже, у відсутності загасання ($\beta = 0$) фазова крива набуває форму еліпса. За наявності загасання фазова крива є скручуваною спіраллю, яку можна спостерігати на екрані осцилографа (рис. 4.44,а).

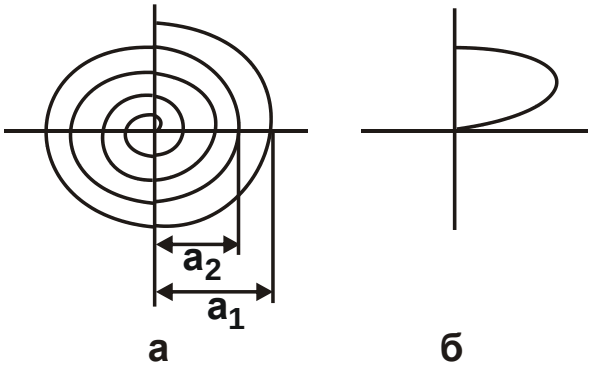
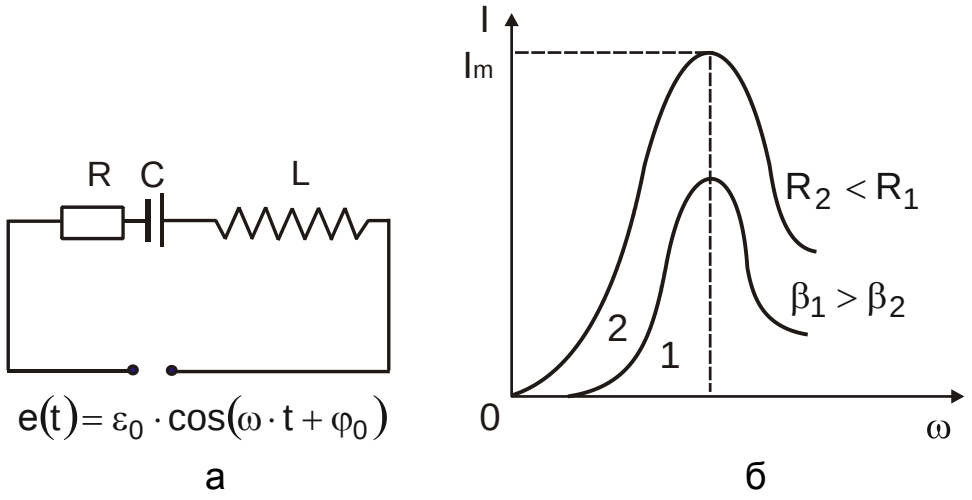


Рисунок 4.44 – Фазова крива за слабкого загасання (а)
і за аперіодичного процесу (б)

У разі аперіодичного процесу фазова крива приймає вигляд, показаний на рис. 4.44,б. Таким чином встановлено, що коливальна система, яка виведена із стану рівноваги і надана сама собі, здійснюватиме вільні загасаючі коливання, які залежить від параметрів системи та опору середовища. Для підтримання коливань системи необхідно компенсувати втрати нею енергії на роботу проти сил опору. Така компенсація

може здійснюватися зовнішніми джерелами енергії. Найпростіший спосіб підтримання коливальної системи – це дія на неї зовнішньої сили, яка змінюється із часом за гармонійним законом. Тоді коливання такої системи будуть вимушеними.

Розглянемо вимушені електромагнітні коливання, які виникнуть в електричному коливальному контурі (рис. 4.45,а), якщо послідовно підключити із елементами контуру електрорушійну силу (ЕРС), яка змінюється за законом: $e(t) = \varepsilon_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$.



а б

Рисунок 4.45 – Вимушені електромагнітні коливання (а) і залежність амплітуди сили струму в контурі від частоти вимушених коливань ω

Тоді коливання заряду, напруги і струму в контурі відбуватимуться за гармонійним законом із частотою вимушених коливань ω. Так, миттєве значення сили електричного струму в контурі визначається:

$$i(t) = I_m \cdot \cos\omega t, \qquad (4.61)$$

де I_m – амплітудне значення сили електричного струму, А.

Можна показати, що амплітудне значення струму I_m дорівнює:

$$I_m = \frac{\varepsilon_0}{z} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega c}\right)^2 + R^2}}. \qquad (4.62)$$

Величину z називають повним опором електричного ланцюга змінного струму (коливального контуру). Він складається із активного (омічного) опору R та реактивного опору, а саме індуктивного опору ωL та ємнісного опору $\frac{1}{\omega c}$.

Залежність (4.62) виражає закон Ома для ланцюгів змінного струму або амплітудно-частотна характеристика коливального контуру. Ця залежність має схожість із класичним законом Ома в тому розумінні, що амплітуда напруги пропорційна амплітуді сили струму. Амплітуда сили струму в контурі, як видно із залежності (4.62), залежить не тільки від параметрів контуру L, R, C і амплітуди вимушеної ЕРС, але й від частоти вимушених коливань ω. Графічно цю залежність показано на рис. 4.45,б. Отже, незалежно від R, амплітуда сили електричного струму в контурі досягає максимального значення за умови $\omega L = \frac{1}{\omega c}$:

$$I_m = \frac{\varepsilon_0}{R}. \qquad (4.63)$$

Звідки знаходимо $\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}} = \omega_0$. Отже, зі збігом частоти вимушених коливань і частоти власних коливань системи спостерігається інтенсивне збільшення амплітуди коливань, що призводить до резонансу.

Як показано раніше, у механічних коливальних системах явище резонансу може бути небажаним, тому його слід враховувати під час конструювання різних машин і споруд, особливо мостів, частота вільних коливань яких повинна значно відрізнятися від частоти вимушених коливань. Однак, явище резонансу в окремих випадках грає і позитивну роль, особливо у акустиці та радіотехніці. Тому вся техніка радіосприйняття ґрунтується на явищі резонансу. Щоб радіоприймач вибірково реагував на електромагнітні хвилі, які випромінює радіостанція, потрібно досягти збігу частоти власних коливань коливального контуру радіоприймача із частотою електромагнітних хвиль, які випромінює радіостанція. Джерелом електромагнітних хвиль є відкритий коливальний контур, тобто контур, пластини конденсатора якого розсунуті на дуже велику відстань (рис. 4.46,а).

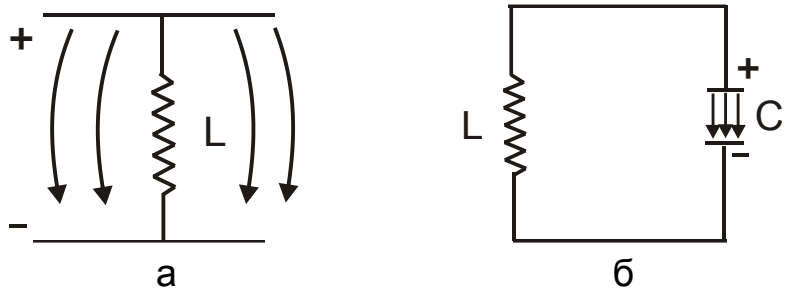


Рисунок 4.46 – Відкритий (а) і закритий (б) коливальні контури

На відміну від закритого коливального контуру (рис. 4.46,б), де електромагнітне поле знаходиться лише між обкладками конденсатора, у відкритому коливальному контурі електромагнітне поле займає необмежений простір.

4.7. Механічні та електромагнітні хвилі

Розглянемо сутність механічних та електромагнітних хвиль. Коливання, що виникають в певній точці пружного середовища, передаються сусіднім точкам, які починають коливатися. Процес передачі коливань із однієї точки до іншої характерний не тільки для пружних середовищ, але і для електромагнітного поля. Процес поширення коливань у просторі називається *хвилею*. Механічним коливанням відповідають механічні або пружні хвилі, електромагнітним коливанням – електромагнітні хвилі.

Нехай у точці 0 знаходиться джерело гармонійних коливань, що описуються рівнянням $S_0 = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$. Тоді коливання в якійсь точці С, яка знаходиться на відстані x від джерела (рис. 4.47), виразиться:

$$S(x,t) = A \cdot \sin[\omega(t - \Delta t) + \varphi_0], \qquad (4.64)$$

де Δt – це час, протягом якого коливання проходить відстань x від точки 0 до точки С, якщо V – це швидкість хвилі, то $\Delta t = \frac{x}{V}$.

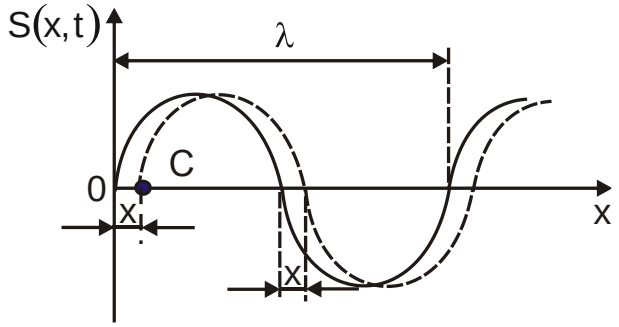


Рисунок 4.47 – Графічне зображення хвилі

Тоді рівняння плоскої синусоїдальної хвилі запишеться :

$$S(x,t) = A \cdot \sin\left[\omega t - \frac{\omega}{V} x + \varphi_0\right]. \qquad (4.65)$$

За період T хвиля проходить відстань $\lambda = V \cdot T$, яку називають *довжиною хвилі*. Довжина хвилі – це просторовий період, аналогічний тимчасовому періоду T.

Величина $k = \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda}$ називається *хвильовим числом*. Хвильове число показує скільки довжин хвиль укладається на відстані, що дорівнює 2π метрів. Тоді рівняння плоскої синусоїдальної хвилі можна записати в більш симетричній формі: $S(x,t) = A \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi_0)$.

Прикладом пружних хвиль є звукові або акустичні хвилі. Звук – це пружні хвилі, що сприймаються вухом людини. Досвід показує, що вухо сприймає звукові коливання, частота яких знаходиться у межах від 16 Гц до 20 кГц. Пружні хвилі із частотою менше 16 Гц називають *інфразвуком*, із частотою понад 20кГц – *ультразвуком*.

Звук – це поздовжня пружна хвиля, тобто коливання частинок пружного середовища відбуваються вздовж напряму поширення хвилі.

На поверхні рідини у річці або озері виникають хвилі, коли частки рідини коливаються у вертикальному напрямі, а хвиля поширюється у горизонтальній площині. Якщо коливання частинок середовища відбувається перпендикулярно до напряму поширення хвилі, то хвиля називається *поперечною*. *Поздовжня* хвиля виникає внаслідок деформації стиснення або розтягування, а поперечна – внаслідок деформації зсуву. Тому в твердих тілах можуть поширюватися і поздовжні, і поперечні хвилі, а в газах і в рідинах – тільки поздовжні хвилі, оскільки гази і рідини не мають пружності зсуву. Швидкість звуку у повітрі та воді визначаються за формулами: $V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{\mu}} = 330 \ \frac{м}{с}$; $V = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = 1435 \ \frac{м}{с}$, де k – модуль об'ємної пружності; ρ – густина рідини; швидкість звуку у сталі $V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 4980 \ \frac{м}{с}$, де E – модуль пружності.

Питання, якими займається акустика, дуже різноманітні. Так, існує фізіологічна акустика, яка вивчає та використовує властивості та особливості слуху людини. Музична акустика досліджує музичні інструменти та умови найкращого їхнього звучання. Фізична акустика вивчає самі звукові коливання, у тому числі ультразвуки.

Ультразвукові хвилі характеризуються значною інтенсивністю та можливістю отримати спрямоване випромінювання. Це дозволяє застосовувати ультразвук для точної обробки матеріалів, а також в ехолотах та гідролокаторах. Ехолот – це ультразвуковий перетворювач, який кріпиться на дні судна і посилає короткі ультразвукові імпульси,

які, відбившись від дна, приймаються тим самим перетворювачем. Ехолот дозволяє досліджувати дно та вимірювати його глибину.

Електромагнітна хвиля – це обурення електромагнітного поля (тобто змінне електромагнітне поле), що поширюється у просторі та у вакуумі. Процес поширення електромагнітних коливань у просторі називається *електромагнітною хвилею*.

Електромагнітні хвилі – це поперечні хвилі, в яких коливання вектора $\vec{E}$ (електрична складова) та коливання вектора $\vec{H}$ (магнітна складова вектора $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ у вакуумі) відбуваються у площині, перпендикулярній швидкості поширення хвилі (рис. 4.48).

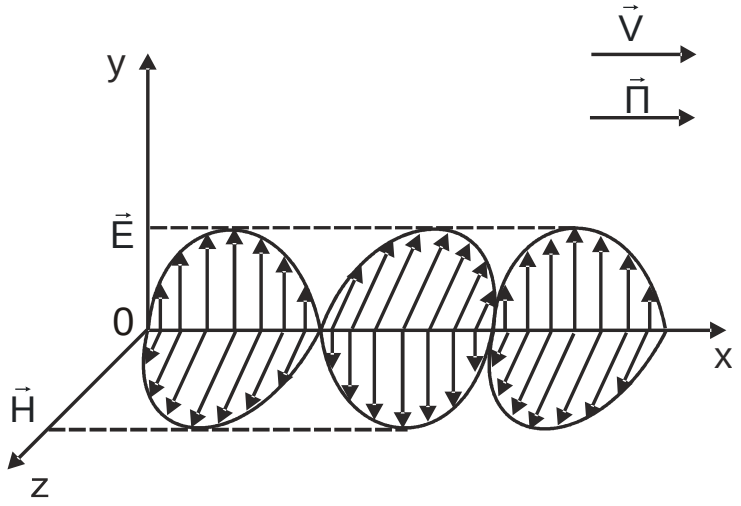


Рисунок 4.48 – Графічне зображення електромагнітної хвилі

Якщо хвиля поширюється вздовж вісі 0x, як показано на рис. 4.48, то рівняння хвилі запишеться:

$$E_x = 0; \quad E_y = E_0 \cdot \sin(\omega t - kx); \quad E_z = 0; \tag{4.66}$$

$$H_x = 0; \quad H_y = 0; \quad H_z = H_0 \cdot \sin(\omega t - kx), \tag{4.67}$$

де $k = \frac{\omega}{V}$ – хвильове число;

V – швидкість хвилі.

Швидкість електромагнітної хвилі в діелектриках визначається через універсальні постійні та параметри середовища:

$$V = \frac{I}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{n}, \tag{4.68}$$

де n – показник заломлення речовини;

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \ \frac{м}{с}$ – швидкість світла у вакуумі.

Електромагнітна хвиля у напрямі свого поширення переносить енергію, величина якої визначається вектором Пойтинга: $\vec{П} = \vec{E} \cdot \vec{H}$.

Електромагнітні хвилі у сучасному житті

Електромагнітні хвилі є невід'ємною частиною нашого життя. Вони важливі як в звичайній лампі, так і в складних смартфонах і глобальних комунікаційних мережах. Електромагнітні хвилі виникають у результаті взаємодії між електричними і магнітними полями. Ці хвилі поширюються в просторі, електричні та магнітні поля коливаються перпендикулярно між собою і до напряму поширення хвиль. Весь спектр хвиль, починаючи від гамма-променів з короткими хвилями і закінчуючи радіохвилями з найдовшою довжиною, відрізняючись лише частотою та довжиною хвилі [162]. Електромагнітні хвилі переносять інформацію та енергію, тому є основою для комунікаційних технологій: радіо- і телевізійне мовлення, мобільний зв'язок і мережі Wi-Fi (рис. 4.49).

Мобільний зв'язок – це технології, що дозволяють користувачеві залишатися на зв'язку під час руху. До мобільних телефонів належать стільникові, радіотелефони, супутникові тощо. У зв'язку зі стрімким розвитком стільникового зв'язку межі між визначеннями "мобільний" і "стільниковий" практично стерті, та слід розуміти, що мобільні телефони, якими ми користуємося, за принципом роботи є стільниковими.

Стільниковий зв'язок – це вид мобільного зв'язку, що базується на стільниковій мережі. Назва "стільниковий зв'язок" пов'язана із тим, що зони покриття базових станцій дещо перекриваються, утворюючи шестигранні зони (стільники).

Щоб на шляху сигналу було якомога менше перешкод, базові станції розміщують на підвищеннях (пагорбах, дахах високих будинків). Телефон користувача зв'язується із найближчою базовою станцією, у зоні досяжності якої він перебуває, надсилає їй свій ідентифікаційний номер (номер телефону, наданий мобільним оператором, та IMEI, який "вшитий" у телефон виробником) і підтримує з нею зв'язок. Під час здійснення дзвінка сигнал передається через базові станції, контролери та комутатори до телефона адресата. Мережі різних операторів з'єднані між собою, тому ми можемо здійснювати дзвінки на номер будь-якого оператора.



Рисунок 4.49 – Комунікаційні технології зв'язку

Мобільні оператори, залежно від технологій, обладнання, покоління зв'язку та ліцензій, використовують електромагнітні хвилі з частотами 900 МГц, 1,8 ГГц, 2,6 ГГц тощо. Потужність передавача (антени) мобільного телефона обмежена 2 Вт під час роботи на частоті 900 МГц та 1 Вт – на частоті 1800 МГц (рис. 4.50).



Рисунок 4.50 – Мобільні телефони

Зазвичай, максимальна потужність в умовах використання GSM мобільних телефонів споживається лише протягом перших кількох секунд. Чим гірші умови приймання/передачі сигналу, тим потужніше випромінювання передавача мобільного телефона під час розмови.

Інфрачервоне випромінювання, яке виходить за межі спектру видимого світла, використовують в повсякденних технологіях, таких як пульти від телевізорів, тепловізори та навіть під час готування їжі в мікрохвильовій печі (рис. 4.51).



Рисунок 4.51 – Мікрохвильова піч

Основною складовою мікрохвильової печі є генератор високочастотних електромагнітних хвиль – *магнетрон.* У мікрохвильових печах, незалежно від розміру чи виробника, магнетрон випромінює електромагнітні хвилі частотою 2,45 ГГц. Цей міжнародний стандарт запроваджений для того, щоб мікрохвильові печі не перешкоджали роботі інших приладів, зокрема радарів, телевізорів, радіоприймачів, мобільних телефонів тощо. На шкалі електромагнітних хвиль мікрохвильове випромінювання розташоване в діапазоні між радіохвилями та інфрачервоним випромінюванням. Хвилі цієї частоти дуже добре поглинає вода, яка є основним складником усього живого на Землі, а отже, і продуктів, які ми споживаємо в їжу. Кожен шматок риби, м'яса та інших продуктів містить воду, тому вони поглинають хвилі, а енергія цих хвиль нагріває продукти. На цьому принципі працює мікрохвильова піч. Слід зазначити, що мікрохвильове електромагнітне випромінювання не є іонізуючим, тому воно не змінює молекулярну будову речовини, а лише нагріває її.

Електромагнітні хвилі мають значення не лише для спілкування та розваг, вони також корисні й у медицині. Рентгенівські промені, які є електромагнітними хвилями, дозволяють лікарям візуалізувати внутрішню структуру людського тіла. *Магнітно-резонансна томографія* (МРТ) дозволяє отримати висококонтрастне зображення тканин тіла, і тому його широко застосовують у візуалізації тканин мозку, серця, м'язів, а також новоутворень. Ці технологічні досягнення призвели до змін у діагностиці та методах лікування, що значно покращує догляд за пацієнтами та рятує їх життя.

У сучасному світі, яке залежить від електрики, електромагнітні хвилі тісно переплітаються із виробництвом і розподілом електричної енергії. Виробництво та передача електроенергії змінного струму, що використовується в будинках і на підприємствах, базуються на принципах електромагнетизму. Лінії електропередач високої напруги, трансформатори та генератори включають маніпуляції електромагнітними полями, щоб забезпечити потік електроенергії в наші домівки, живлячи прилади, освітлення та електронні пристрої.

Електромагнітні хвилі значною мірою впливають на розвиток і майбутнє. Так, поява технології 5G дозволяє отримати більш надійний зв'язок, який, у свою чергу, дає змогу використовувати автономні транспортні засоби і програми доповненої реальності.

Таким чином, електромагнітні хвилі, породжені розумінням електромагнетизму, стали незамінною складовою сучасного життя. Електромагнітні хвилі відіграють важливу роль у комунікаційних мережах, медичній діагностиці, виробництві електроенергії та передових технологіях. Незважаючи на те, що ці хвилі невидимі для ока, їх вплив є незаперечним і всеосяжним, оскільки вони впливають на кожен аспект нашого повсякденного життя.

4.8. Основи бездротової передачі інформації

Бездротова передача інформації – це процес передачі даних між двома або більше точками, які фізично не підключені.

У сучасному світі, де технології розвиваються із неймовірною швидкістю, бездротова передача інформації стала невід'ємною частиною нашого життя. Від простого обміну повідомленнями в мобільних телефонах до складних систем зв'язку в космічних місіях – бездротова

передача інформації використовується у всьому. Далі розглянемо сутність бездротової передачі інформації, її принципи роботи та застосування в різних галузях.

Спочатку розглянемо принципи радіотелефонного зв'язку, радіомовлення і телебачення.

Радіо (латин. Radio – випромінюю) – це спосіб безпровідної передачі та прийому інформації за допомогою електромагнітних хвиль [150].

Джерелами радіохвиль можуть бути тільки високочастотні електромагнітні коливання, які виникають у коливальному контурі. Однак, вони є загасаючими. Для їх підтримання до коливального контуру необхідно постійно постачати енергію. Це досягається періодичним підведенням енергії від джерела постійного струму. У результаті створюється автоколивальна система, яку називають *генератором електромагнітних коливань*. Такий генератор включає три характерні елементи:

- коливальну систему, у якій відбуваються вільні коливання, коливальний контур;
- джерело енергії – джерело постійного струму;
- пристрій зворотного зв'язку – транзистор і котушка зв'язку, які "керують" постачанням енергії.

Змінний струм, що протікає у котушці контуру, створює магнітне поле, яке, у свою чергу, створює вихрове електричне поле, що спричиняє появу індукційного струму в котушці. У результаті транзистор періодично "у такт" із електромагнітними коливаннями в контурі замикає коло (у цей час конденсатор отримує енергію від джерела). Для здійснення передачі і прийому електромагнітних хвиль, які несуть звукову та оптичну інформацію, потрібно виконати такі завдання:

- створити високочастотні електромагнітні коливання;
- накласти на високочастотні коливання звукову і (або) оптичну інформацію;
- забезпечити випромінювання електромагнітних хвиль;
- забезпечити прийом електромагнітних хвиль;
- зняти з прийнятого високочастотного сигналу звукову і (або) оптичну інформацію та відтворити її.

Ці завдання досягаються застосуванням незгасаючих високочастотних електромагнітних коливань, у яких зосереджено велику енергію і які дозволяють передавати радіохвилі на великі відстані. Джерелом

цих коливань є відкритий коливальний контур генератора електромагнітних коливань. Отже, радіохвилі дозволяють спілкуватися за великі відстані та передавати інформацію швидко та надійно [141].

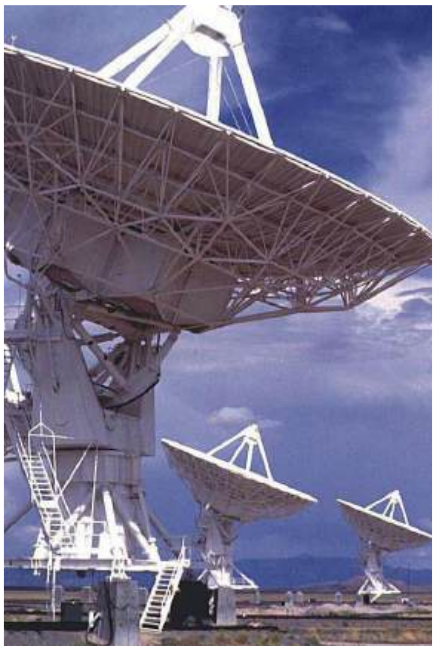


Рисунок 4.52 – Поширення радіохвиль

Пристроєм для прийому і передачі електромагнітних хвиль є антена, яку можна отримати, замінивши верхню обкладку конденсатора проводом, розташованим якнайвище над поверхнею землі, і заземливши нижню обкладку конденсатора. Для передачі сигналів антену пов'язують із коливальним контуром генератора електромагнітних коливань.

Електромагнітні коливання, збуджені в антені, створюють електромагнітні хвилі, які поширюються в різних напрямах та збуджують у провіднику, який зустрічається на їх шляху, змінний електричний струм, частота якого дорівнює частоті хвилі. Пристрої, в яких під дією електромагнітних хвиль збуджуються струми високої частоти, називають *приймальними антенами*. Ці антени не тільки отримують і випромінюють сигнали, але і спрямовують їх у певному напряму, що дозволяє досягати кращої якості зв'язку на великій відстані (рис. 4.52).

Для створення електромагнітної хвилі, яка була б високочастотною та високоенергетичною, а водночас і несла б звукову інформацію, застосовують модуляцію.

Модуляція – це процес зміни параметрів високочастотних електромагнітних коливань (амплітуди, частоти, початкової фази) із частотами набагато меншими, ніж частота самої хвилі.

Хвилю зі зміненими параметрами називають *модульованою*. Частоту вихідної (немодульованої) високочастотної хвилі називають *частотою-носієм*, частоту зміни параметрів – *частотою модуляції.*

Якщо в процесі модуляції змінюється амплітуда високочастотних коливань, то одержимо амплітудно-модульований сигнал, якщо змінюється частота, то одержимо частотно-модульований сигнал.

Найпростіше одержати амплітудно-модульований сигнал. Для цього до кола генератора високої частоти підключають джерело змін-

ної напруги низької частоти, наприклад вторинну обмотку трансформатора, первинна обмотка якого пов'язана з мікрофоном. Під дією низькочастотної напруги, яка змінюється зі звуковою частотою, змінюється енергія, що подається від джерела до коливального контуру генератора. Відповідно, із частотою звука змінюється й амплітуда сили струму в генераторі, а отже, і амплітуда вихідного сигналу.

Для якісної передачі інформації частота-носій має бути в багато разів вищою за чистоту модуляції.

Електромагнітні хвилі, досягши приймальної антени, збуджують у ній коливання тієї самої частоти, що й частота хвиль. Але в антену надходять коливання від різних радіостанцій, і кожна радіостанція працює на своїй частоті. Щоб із безлічі коливань виділити коливання потрібної частоти, використовують електричний резонанс. Для цього індуктивно з антеною пов'язують коливальний контур. Змінюючи ємність конденсатора (настроюючи радіоприймач), змінюють власну частоту коливань контуру. Коли власна частота коливань коливального контуру збігається із частотою електромагнітної хвилі, на яку настроєно радіоприймач, настає резонанс: амплітуда вимушених коливань сили струму в контурі різко збільшується. Отже, з безлічі сигналів, що збуджують коливання в приймальній антені, виділений один високочастотний модульний сигнал, який потрібно демодулювати – відділити сигнал звукової частоти від частоти-носія. Демодулятор (детектор) амплітудно-модульованого сигналу складається з напівпроводникового діода, конденсатора і резистора. Діод пропускає струм тільки в одному напряму, тому після проходження через діод струм буде пульсуючим. Пульсуючий струм прямує на систему "конденсатор – резистор". Завдяки періодичній зарядці та розрядці конденсатора пульсації згладжуються і на виході маємо струм звукової частоти.

Принципи радіотелефонного зв'язку

Найпростіший детекторний радіоприймач працює на енергії прийнятих електромагнітних хвиль. Для відтворення достатньо чіткого і голосного звукового сигналу в радіоприймачах і радіопередавачах сигнал проходить через низку підсилень.

Основні етапи створення, прийому і перетворення радіосигналу:

- генератор незгасаючих електромагнітних коливань створює високочастотні електромагнітні коливання, частота яких дорівнює власній частоті коливального контуру генератора;

- високочастотні коливання модулюються коливаннями звукової частоти;
- модульовані коливання підсилюються й подаються на передавальну антену, яка випромінює електромагнітні хвилі;
- досягши приймальної антени, електромагнітні хвилі збуджують у ній високочастотні коливання;
- коливання, збуджені в приймальній антені, викликають високочастотні електромагнітні коливання в резонуючому коливальному контурі;
- слабкі високочастотні коливання підсилюються й подаються на демодулятор;
- демодулятор із модульованих коливань виділяє коливання низької звукової частоти;
- коливання низької частоти підсилюються і перетворюються на *звук*.

Поняття про телебачення

Принципова схема одержання і перетворення телевізійного сигналу мало відрізняється від принципової схеми радіотелефонного зв'язку, проте має такі особливості:

- у телепередавачі коливання частоти-носія модулюються як звуковим сигналом, так і відеосигналом, що надходить від відеокамери. Оскільки телевізійний сигнал несе великий обсяг інформації, частота-носій цього сигналу має бути достатньо високою, тому телевізійні станції працюють тільки в діапазоні ультракоротких радіохвиль;
- у телевізійному приймачі високочастотний модульований сигнал підсилюється і розділяється на відео- і аудіоскладові. Підсилений відеосигнал подається в модуль кольору, де декодується, а потім надходить на пристрій для відображення оптичної інформації. Аудіоскладова подається в канал звукового супроводу, де модулюється і підсилюється, після чого подається на динамік.

Застосування бездротової передачі інформації

Технологію передачі голосової інформації радіоканалом розпочали застосовувати ще в кінці XIX століття. Із тих пір з'явилася велика кількість радіокомунікаційних систем, які використовують під час виробництва обладнання для будинку, офісу або підприємств.

Існує декілька способів синхронізації пристроїв для передачі даних. Кожен з них використовується в певній області та має індивідуальні властивості. Бездротові мережі передачі даних відрізняються

своїми характеристиками, тому мінімальна і максимальна відстань між пристроями, залежно від виду технології передачі інформації, буде різною. Для синхронізації пристроїв за радіоканалом встановлюють спеціальні адаптери, які здатні відправляти і отримувати інформацію. Тут мова може йти як про невеликий модуль, який вбудовується в смартфон, так і про орбітальний супутник. Приймачем і передавачем можуть бути різні види пристроїв. Передачу здійснюють за допомогою каналів різних частот і діапазонів.

Класифікація бездротових каналів

Залежно від природи передавального середовища розрізняють чотири типи бездротової передачі даних:

- радіоканали стільникового зв'язку: передача даних здійснюється бездротовим шляхом від передавача до приймача;
- супутникові канали: цей спосіб передачі інформації полягає у використанні супутника, на якому встановлено антену із спеціальним обладнанням;
- інфрачервоні канали: зв'язок встановлюється між приймачем і передавачем, які знаходяться на близькій відстані один від одного. Такий канал для бездротової передачі даних працює за допомогою світлодіодного випромінювання;
- лазерні канали: принцип дії такий самий, як у попередньому варіанті, тільки замість світлодіодів використовується лазерний промінь.

Головними відмінними рисами бездротового середовища передачі даних є дальність дії і область застосування.

Основні принципи бездротової передачі інформації включають:

- модуляцію: процес зміни одного або більше параметрів несучої хвилі відповідно до інформаційного сигналу. Це може включати амплітудну модуляцію (AM), частотну модуляцію (FM) або фазову модуляцію (PM);
- передачу та прийом: передавач перетворює електричний сигнал в радіохвилю, яка потім передається через простір. Приймач збирає цю радіохвилю та перетворює її назад на електричний сигнал;
- демодуляцію: це процес вилучення оригінального інформаційного сигналу з модульованої несучої хвилі.

Бездротова передача інформації використовується в таких технологіях: мобільний зв'язок, Wi-Fi, Bluetooth, GPS, радіо та телебачення.

Пристрої передачі даних

У своєму повсякденному житті люди оточені пристроями, які функціонують на базі бездротових технологій передачі даних. Причому кожен пристрій має декілька додатків активності тих чи інших стандартів. Наприклад, класичний смартфон використовує мережі GSM, 3G, LTE для передачі пакетних і голосових даних, Wi-Fi для виходу в інтернет через точку доступу. Отже, бездротові технології надали можливість повсюдного впровадження телекомунікаційного обладнання, яке масово використовується у всіх країнах світу. Постійні доопрацювання і нові відкриття в області бездротових комунікацій дають все більший рівень комфорту, а облаштування побуту за допомогою інноваційних приладів стає все більш доступним для більшості людей.

4.9. Мобільний телефон

Мобільний телефон схожий на рацію, для передачі сигналу використовують радіохвилі. Рації підключаються до однієї антени і працюють, спіймавши сигнал від неї. Стільникові телефони не залежать від конкретної станції. Не випадково перші стільникові телефони були дуже схожі на трубки звичайних рацій, маючи навіть зовнішню антену. Зараз вони підключаються до базової станції із найсильнішим сигналом. Вишки базових станцій (антени) побудовані у всьому світі, їх розташовують на дахах будівель, стовпах, рекламних щитах та багатьох інших несподіваних місцях. Кожна станція покриває деяку зону (у вигляді шестикутника). Звісно, шестикутники можуть покривати єдині області. На схемах території, що межують одна з одною, нагадують бджолині стільники. Тому і зв'язок називають стільниковим (за прикладом бджолиних стільників). Для використання телефону потрібно мати SIM-картку. Сучасні телефони мають декілька карток для підключення до мереж різних операторів. Це є дуже зручним для вирішення багатьох інформаційних завдань звичайним користувачем.

Мобільний (стільниковий) телефон – це технічний пристрій, що поєднує приймач і передавач радіосигналу [138]. Усі апарати працюють за єдиним принципом – вони є випромінювачами електромагнітних хвиль. Умовно схему мобільного телефону можна розділити на три модулі: радіочастотний модуль, низькочастотний модуль і модуль керування. Кожен модуль має власну функцію перетворювача сигна-

лу. Динамік і мікрофон дозволяють телефону здійснювати функції приймача звукового сигналу і одержувача.

Радіочастотний модуль обробляє всі радіосигнали, що приймаються або передаються телефоном. Вбудована антена присутня в сучасних моделях пристроїв. Сигнали, що приймаються, перетворюються. Вихідний сигнал із радіочастотного модуля надходить на низькочастотний модуль. У мобільному телефоні використовується синтезатор частот. Частота каналу визначається модулем керування. Під час переміщення телефону в просторі від комірки до комірки, частоти прийому та передачі перемикаються, щоб відповідати доступним каналам зв'язку в новій комірці.

Проте складність пристрою не заважає працювати із ним пенсіонерам та маленьким дітям. Сучасний мобільний телефон невипадково називається *смартфоном* (від англ. "розумний телефон"). У пристрої також розташований годинник, будильник, калькулятор, календар, ліхтарик, фотоапарат, можливість виходу в інтернет, плеєр і багато іншого. Таким чином, робота мобільного телефону ґрунтується, насамперед, на радіозв'язку. Принципи радіозв'язку такі.

Змінний електричний струм високої частоти, який створюють в антені передавача, викликає в просторі навколо антени електромагнітні хвилі високої частоти. Коли хвилі досягають антени приймача, вони індукують у ній змінний струм такої ж частоти, на якій працює передавач.

Для передачі звуку високочастотні коливання змінюють або модулюють за допомогою електричних коливань низької частоти (звукової частоти). Цей метод називають амплітудною модуляцією.

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виділяють низькочастотні коливання. Такий процес перетворення сигналу називають детектуванням. Отриманий у результаті детектування сигнал відповідає тому звуковому сигналу, який діяв на мікрофонному передавачі. Тобто, маємо ланцюжок "звукові коливання – електромагнітні коливання – звукові коливання". Основні елементи мережі – телефони і базові станції. Антену базової станції ропозділено на декілька секторів, кожен із яких спрямований у свій бік.

Ще одним типом фізичних явищ, із якими пов'язана робота мобільного телефону (екрана телефону), є світлові явища (рис. 4.53). Більшість сучасних телефонів мають сенсорні екрани. Розвиток сенсорних технологій відбувається за двома напрямами: резистивні сен-

сори (такі, що ними можна керувати будь-якими предметами) та ємнісні сенсори (такі, що реагують тільки на предмети, які проводять електричний струм). Останні дозволяють керувати одночасно окремими областями екрану – мультитач.



Рисунок 4.53 – Мобільний телефон

Ємнісний сенсорний екран є скляною панеллю, який вкрито прозорим резистивним матеріалом (зазвичай, застосовується сплав оксиду індію та оксиду олова). Електроди, розташовані в кутах екрана, подають на провідний шар невелику змінну напругу (однакову для всіх кутів). Під час торкання екрана пальцем або іншим предметом, що проводить струм, відбувається витік струму. При цьому, чим ближче палець до електрода, тим менше опір екрана. Це означає, що сила струму більша. Струм у всіх чотирьох кутах реєструється датчиками і передається в контролер, що обчислює координати точки дотику. Але такі ємнісні технології мають суттєвий недолік – ускладнене керування на холоді. Резистивні технології не мають такого недоліку.

Сонячні промені впливають на екран: чим вище допустима яскравість екрана, тим легше читати із нього інформацію в сонячну погоду.

Світло падає на екран (його поверхню) під певним кутом. Частина цього світла поглинається, частина відбивається. Відсоток поглинутого (відбитого випромінювання) залежить від кольору поверхні. Тобто кожен піксель екрана буде відбивати та поглинати світло у своїх власних пропорціях, залежно від кольору. Отже, для користувача важлива освітленість екрана телефону.

Важливою умовою функціювання мобільного телефона є робота акумулятора – отримання електричного струму шляхом хімічних реакцій. Тому, залежно від задіяних елементів періодичної системи Мендє-

лєєва залежить і тривалість "життя" акумулятора до розрядження. Важливими параметрами для оцінювання акумуляторів є висока електрична густина, кількість циклів "заряджання–розрядження" та його оптимальний розмір. Найбільш розповсюдженими типами акумуляторів для мобільних телефонів є літієві акумулятори (рис. 4.54). Так, літій-іонні акумулятори мають високу електричну густину, велику кількість циклів "зарядка–розрядка". Такий акумулятор складається з електродів (катоду та аноду), розділених пористим сепаратором, який просочено електролітом. Пакет електродів розміщено у герметичному корпусі.

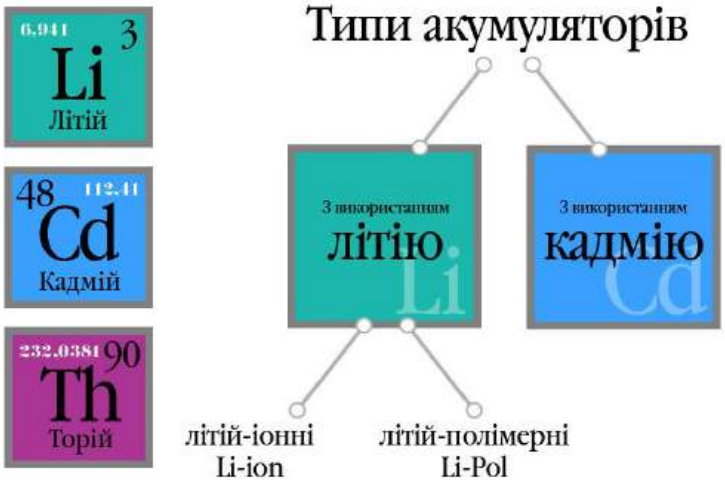


Рисунок 4.54 – Типи акумуляторів

Окремим видом акумуляторів є торієві. Це акумулятори нового покоління, які саме зараз "роблять крок" із дослідницьких лабораторій у реальне життя. Торій (Th) – метал зі слабкою радіоактивністю. Шкоди життю і здоров'ю людини він не несе (виняток – потрапляння безпосередньо у кров). У біосферні процеси його не включають, тому він не є шкідливим чинником для довкілля. Торій використовують для концепткарів (презентативних моделей автомобілів нового покоління) і для інноваційно "просунутих" моделей акумуляторів (у тому числі й для мобільних телефонів).

Нікель-кадмієві акумулятори мають малу енергоємність за великих розмірів самого акумулятора. Вони отримали застосування лише в старих моделях телефонів. Літій-полімерні акумулятори – найтехнологічніші. Вони мають мінімальну товщину, використовуються для ультратонких моделей телефонів. Такі акумулятори також встановлюють на електромобілі (рис. 4.55).

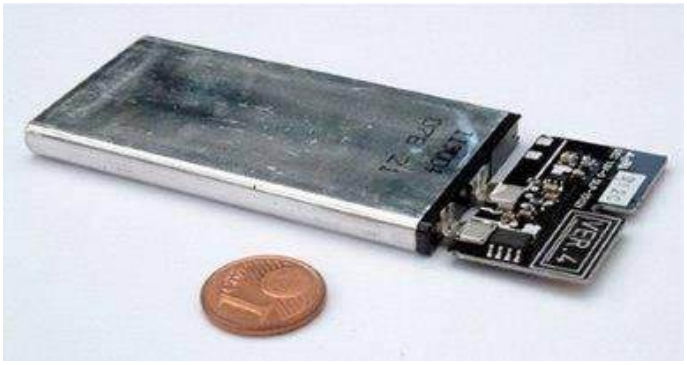




Рисунок 4.55 – Акумулятор для телефона та електромобіль

Мобільний телефон володіє штучним інтелектом. Адже мобільний телефон (його операційна система) здатен приймати рішення: яка програма або додаток "зависла" і її слід закрити, яку контекстну рекламу вам запропонувати. Приклади штучного інтелекту – це Android та iOS. Обидві операційні системи мають ознаки штучного інтелекту:

- здатність вибирати і приймати оптимальні рішення на основі раніше отриманого життєвого досвіду й аналізу зовнішніх впливів (будь-який інтелект опирається на діяльність);
- найголовнішою відмінністю програмного забезпечення справжнього штучного інтелекту від простих додатків полягає в можливості "мислити" образами (за допомогою образного мислення сьогодні стали доступними такі технології, як стиснення й кодування інформації, обробка біометричних образів, оптимізація гами передавання кольору, подібний пошук, аналіз сенсу зображень, автоматична каталогізація інформації, алгоритми розпізнавання та класифікації образів).

Штучний інтелект – перспективний напрямок технологічного розвитку. Наприклад, Google планує створити штучний інтелект, який би дозволив поліпшити сортування інформації для пошукових запитів.

Такі розробки мають завершитися до 2029 року. Результатом має стати розумна пошукова машина, що володіє емоційним інтелектом. Вона буде розуміти людські емоції.

Як показує практика, мобільні телефони стають "немодними", навіть не встигнувши технічно застаріти. Значним чином телефон стає "статусним" атрибутом, віддзеркалюючи всі зміни життя.

4.10. Основні канали витоку інформації

Основні канали витоку інформації є важливою темою в сфері інформаційної безпеки. Також вони тісно пов'язані з фізикою через фізичні принципи та явища, які використовують для витоку інформації або для захисту інформації від таких витоків [151].

Канали витоку інформації також можна класифікувати за їхніми фізичними властивостями та принципами функціонування, включаючи акустичні, акустоелектричні, віброакустичні, оптичні, електромагнітні та радіовипромінювання. Крім цього, інформація може витікати через матеріальні носії, такі як папір та інші фізичні засоби.

Основні технічні канали витоку інформації:

- електромагнітний: за допомогою цього методу можна перехоплювати високочастотні електромагнітні випромінювання від передавачів засобів зв'язку за допомогою портативних радіорозвідувальних пристроїв. Перехоплена інформація широко використовується для прослуховування телефонних розмов;
- електричний: цей метод часто використовують для перехоплення телефонних розмов. Він включає запис інформації, яку можна записати на диктофон або передати радіоканалом до місця прийому для подальшого аналізу;
- індукційний: цей метод перехоплення інформації не потребує контактного підключення до каналів зв'язку. Він використовується для зняття інформації з симетричних високочастотних кабелів, де інформаційні електричні сигнали створюють електромагнітне поле навколо кабелю. Спеціальні індукційні датчики перехоплюють ці сигнали, після чого інформація записується на магнітофон, а високочастотний сигнал також записується на спеціальний магнітофон;
- акустичний канал витоку інформації має декілька методів використання, включаючи підслуховування розмов в реальному часі за до-

помогою спрямованих мікрофонів, запис негласних розмов на диктофони або магнітофони (включаючи цифрові диктофони, що активуються голосом) і підслуховування з використанням виносних мікрофонів;

- акустоелектричний канал витоку інформації має свої особливості, такі як зручність застосування через доступність електромережі, можливість використання електромагнітного випромінювання мережі електроживлення для зняття інформації без прямого підключення, і прийом інформації від таких "жучків" за допомогою спеціальних приймачів;
- телефонний канал для підслуховування телефонних розмов може бути використаний через гальванічне підключення до абонентської телефонної мережі або шляхом високочастотного нав'язування, впливаючи на елементи телефонного апарату. Також можливе індуктивне та ємнісне зняття телефонних переговорів;
- оптичний канал для отримання інформації використовує візуальне спостереження, фото-відеозйомку та передачу інформації через видимий та інфрачервоний діапазони від прихованих мікрофонів та датчиків. Цей канал може використовувати середовища, такі як безповітряний простір, атмосферу та оптичні світловоди. Властивості цього середовища, такі як прозорість та спектральні характеристики світла, впливають на довжину каналу витоку інформації.

Як в будь-якій системі зв'язку, в каналах просочування інформації небезпечний сигнал (сигнал, що несе секретну інформацію) характеризується тривалістю Т, динамічним діапазоном Д і шириною спектра F добутком яких є його об'єм:

$$V = T \cdot F \cdot Д. \qquad (4.70)$$

Щоб прийняти такий об'єм інформації, на приймаючій стороні має бути апаратура, що задовільняє відповідним характеристикам, тобто має необхідну чутливість за певним перевищенням сигналу над рівнем власних перешкод, і що забезпечує необхідну ширину смуги сигналів, які приймаються, за відповідної тривалості їх передачі.

Каналом може проходити без спотворення лише такий сигнал, який задовольняє умовам (Тк, Fк і Дк – це тривалість прийому інформації каналом, ширина спектру сигналу, що приймається, і динамічний діапазон каналу, відповідно): $T \le Тк$; $F \le Fк$; $Д \le Дк$.

Ширина смуги пропускання (частотний спектр) каналу F змінюється від 3100 Гц для телефонного до 8 Мгц для телебачення і до сотень мегагерц для оптичних ліній зв'язку.

Таким чином, фізика відіграє важливу роль у розумінні та захисті від каналів витоку інформації, допомагаючи аналізувати фізичні явища, які використовують для передачі та перехоплення інформації.

4.11. Електромагніти та їх застосування

Електромагніти – це пристрої, які генерують магнітне поле за допомогою обмотки, через яку проходить електричний струм. На відміну від постійних магнітів, які мають фіксоване магнітне поле, електромагніти мають перевагу в тому, що їх можна контролювати і регулювати [134].

Принципи роботи електромагнітів ґрунтуються на взаємозв'язку між електрикою і магнетизмом. Відповідно закону Ампера, магнітне поле генерується щоразу, коли електричний струм протікає через провідник. Це магнітне поле утворює навколо дроту концентричні кола, напрям яких визначається правилом правої руки. Під час намотування дроту на кілька петель магнітні поля, створені кожною петлею, об'єднуються і підсилюють загальне магнітне поле. Коли через дріт проходить електричний струм, електрони всередині дроту відчувають силу, зумовлену магнітним полем. Ця сила змушує електрони рухатися, створюючи потік заряду. Потік заряду, або електричний струм, створює магнітне поле навколо дроту. Напруженість магнітного поля прямо пропорційна силі струму, що протікає через дріт. Збільшуючи або зменшуючи силу струму, можна керувати напруженістю магнітного поля.

Електромагніти також можна вмикати і вимикати, контролюючи потік електричного струму. Коли струм вимикається, магнітне поле руйнується, і електромагніт втрачає свій магнетизм. Ця функція особливо корисна в тих випадках, коли магнітне поле потрібно швидко активувати або деактивувати, наприклад, у магнітних дверних замках або електромагнітних гальмах.

Застосування електромагнітів у повсякденному житті (рис. 4.56)

Одним із основних застосувань електромагнітів є електродвигуни. Електродвигуни можна знайти в численних пристроях, від побутових приладів до промислового обладнання. Вони перетворюють електричну енергію в механічну завдяки взаємодії магнітних полів. Магнітне поле, створене електромагнітом, взаємодіє з постійним магнітом, змушуючи двигун обертатися. Цей обертальний рух використовується для живлення всього – від вентиляторів і насосів до автомобілів і поїздів.







Рисунок 4.56 – Практичне застосування електромагнітів

Ще одна сфера, де електромагніти зробили революцію в технологіях, – це телекомунікація. Динаміки наших смартфонів, навушників і гучномовців використовують електромагніти для відтворення звуку. Коли електричний струм протікає через дротяну котушку, він взаємодіє з постійним магнітом, змушуючи котушку вібрувати. Ці коливання створюють звукові хвилі, які ми чуємо як звук. Електромагніти відіграють вирішальну роль у підвищенні якості звуку та точності наших пристроїв.

Електромагніти використовують в антенах і комутаторах для прийому та передачі радіосигналів. Електромагніти також широко використовують в системах безпеки, таких як магнітні замки та зчитувачі магнітних карток. Магнітні замки замикають двері завдяки притяганню між електромагнітом і металевою пластиною. Коли протікає струм, електромагніт утримує металеву пластину на місці, запобігаючи відкриттю дверей. Коли струм припиняється, магнітне поле розсіюється, звільняючи металеву пластину і дозволяючи дверям відчинятися. Цей механізм забезпечує надійний та ефективний засіб контролю доступу.

Електромагніти в техніці та промисловості

Електромагніти відіграють життєво важливу роль у різних галузях промисловості. Так, електромагнітні реле використовують для керування електричними лініями та електричними пристроями. Вони включають в себе електромагніт, який перемикає контакти під впливом магнітного поля. Трансформатори використовують для зміни напруги та струму в електричних мережах. Вони містять два намоти, які пов'язані магнітним полем.

Електромагніти використовують в процесах переміщення та розділення матеріалів

Електромагнітні підйомні системи використовують для переміщення важких об’єктів, таких як сталеві пластини або металобрухт. Активуючи електромагніт, ці об’єкти можна безпечно піднімати і транспортувати, підвищуючи ефективність і безпеку в промислових умовах.

Електромагніти застосовують в металургічній промисловості для сортування та переміщення металевих матеріалів. Електромагнітні сепаратори використовують для відділення магнітних матеріалів від немагнітних. Це досягається шляхом пропускання суміші матеріалів через магнітне поле, що генерується електромагнітом. Магнітні частинки притягуються до електромагніту і відокремлюються від немагнітних матеріалів. Цей процес, зазвичай, використовують на сміттєпереробних

заводах для відділення чорних металів від інших відходів, що сприяє збереженню ресурсів.

Електромагніти відіграють значну роль у енергетиці. Гідроелектростанції використовують великі електромагніти, відомі як генератори, для перетворення механічної енергії падаючої води в електричну. Обертання турбіни змушує магніт, обертатися в котушці дроту, індукуючи електричний струм. Цей струм потім передається лініями електропередач, постачаючи електроенергію до будинків, підприємств та промислових об’єктів.

Значення електромагнітів у транспорті

Транспортні системи значною мірою покладаються на електромагніти для підвищення ефективності та безпеки. Окрім поїздів на магнітній подушці, електромагніти використовують в різних аспектах транспортної інфраструктури. Світлофори використовують електромагніти для виявлення присутності транспортних засобів і керування потоком руху. Коли транспортний засіб наближається до перехрестя, електромагніт, вбудований в дорогу, відчуває металеві компоненти транспортного засобу і відповідно змінює сигнал світлофора. Ця технологія допомагає оптимізувати транспортний потік і зменшити затори.

Електромагнітні гальмівні системи, які, зазвичай, використовують в поїздах і ліфтах, забезпечують надійний і ефективний засіб уповільнення. В деяких моделях ліфтів використовують електромагніти для зупинки ліфта під час аварії. При подачі електричного струму на електромагніт генерується магнітне поле, яке взаємодіє з металевою пластиною або рейкою. Магнітна сила, що виникає в результаті, уповільнює рухомий об'єкт, забезпечуючи плавне і контрольоване гальмування. Електромагнітні гальма мають переваги над традиційними фрикційними гальмівними системами, такі як зменшене зношування, покращений час спрацьовування та підвищена безпека.

Електромагніти в медицині та наукових дослідженнях

Електромагніти зробили революцію в медичній діагностиці та наукових дослідженнях завдяки їх використанню в технологіях візуалізації. У медичних пристроях, таких як магнітно-резонансні томографи (МРТ) і електрокардіографи, застовують електромагніти для створення магнітних полів для діагностики і лікування. Завдяки МРТ можна створити детальне зображення людського тіла. Створюючи сильне магнітне поле, протони в тканинах організму вирівнюються з полем. Коли подається

радіочастотний імпульс, протони поглинають енергію і вирівнюються. Коли протони розслабляються і повертаються до свого початкового положення, вони випромінюють радіохвилі, які реєструються апаратом МРТ і використовуються для побудови детальних зображень. Технологія МРТ значно просунула сферу медичної діагностики, дозволивши отримувати неінвазивні та високоточні зображення внутрішніх структур.

У наукових дослідженнях електромагніти використовують в прискорювачах частинок для керування траєкторією заряджених частинок. Застосовуючи магнітне поле, частинки відхиляються, що дозволяє вченим вивчати їхні властивості та взаємодії. Електромагніти в прискорювачах частинок мають вирішальне значення для експериментальної фізики, уможливлюючи прогрес у таких галузях, як фізика елементарних частинок, ядерна фізика та матеріалознавство.

Електромагніти широко використовують у фізичних дослідженях та експериментах, включаючи досліди з магнетизмом та електродинамікою. Електромагніти є важливими в електротехніці та електроніці, їх використовують для великої кількості застосувань у сучасному технологічному світі.

4.12. Квантові генератори світла (лазери)

Наприкінці 50-х – початку 60-х років XX століття фахівці з квантової фізики здійснили низку відкриттів, які згодом значно змінили життя людства. Гідне місце серед цих відкриттів належить винайденню квантових генераторів [20, 31, 112].

Квантовий генератор – це загальна назва джерел електромагнітного випромінювання, що працюють на основі вимушеного випромінювання атомів і молекул. Перший квантовий генератор був створений у 1954 р. двома незалежними одна від одної групами радіофізиків – радянськими фізиками Миколою Геннадійовичем Басовим (1922–2001), Олександром Михайловичем Прохоровим (1916–2002) і групою американських учених під керівництвом Чарлза Гарда Таунса (1915–2015). Винайдений квантовий генератор випромінював електромагнітні хвилі радіодіапазону. У 1960 році було створено перші лазери – квантові генератори, які працюють в оптичному діапазоні.

Квантові генератори мають різні назви (лазер, мазер, разер, газер) залежно від того, яку довжину хвилі випромінює генератор, і всі ці

назви походять від абревіатури англійського словосполучення amplification by stimulated emission of radiation (посилення шляхом стимулюючого випромінювання):

- першим квантовим генератором був мазер – пристрій, який випромінював когерентні електромагнітні хвилі в міліметровому радіодіапазоні (англ. microwave – мікрохвильовий);
- квантові генератори іншого типу – лазери – працюють в оптичному діапазоні шкали електромагнітних хвиль;
- разер – квантовий генератор, який випромінює рентгенівські хвилі;
- газер – квантовий генератор вимушенного гамма-випромінювання.

У 1960 р. в США Теодор Мейман створив перший в світі рубіновий лазер у видимому діапазоні спектра. Це був лазер безперервної дії. На це пішло 9 місяців колосальних зусиль. Він обійшов в цьому змаганні провідні компанії, такі як Lincoln Labs, IBM, Westinghouse, Siemens, RCA Labs, GE, Bell Labs, TRG.

Лазер – квантовий генератор індукованого когерентного випромінювання оптичного діапазону [131].

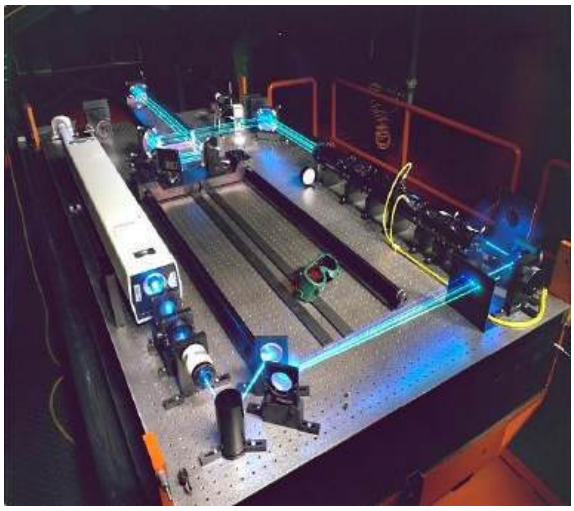
Індуковане випромінювання – це випромінювання, яке відбувається під дією зовнішнього фотона, який проходить біля збудженого атома. При цьому атом випускає фотон, що нічим не відрізняється від того фотона, який викликав перехід, тобто такої ж частоти та фази.

Явище індукованого випромінювання покладене в основу роботи лазерів. Всі лазери складаються із трьох основних частин:

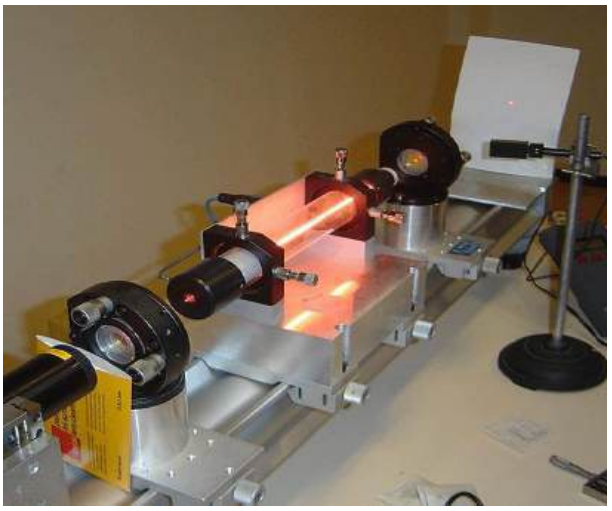
- активне (робоче) середовище;
- джерело накачки (енергії);
- оптичний резонатор (може бути відсутнім, якщо лазер працює в режимі підсилювача).

Лазер – джерело світла. У порівнянні з іншими джерелами світла лазер має низку унікальних властивостей, пов'язаних з когерентністю і високою спрямованістю його випромінювання. Випромінювання "нелазерних" джерел світла не має цих особливостей.

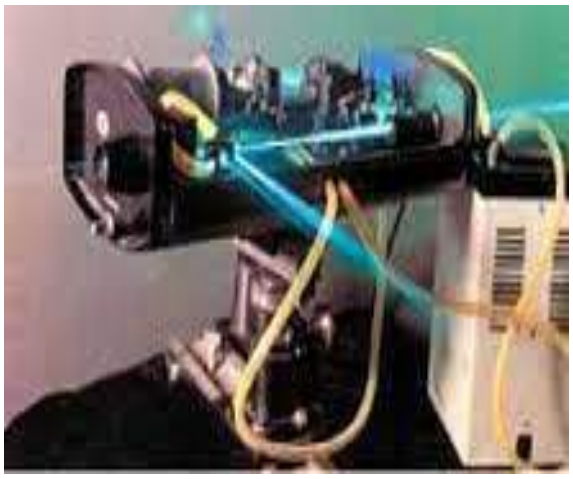
"Серце лазера" – це його активний елемент. В одних лазерів це кристалічний або скляний стержень циліндричної форми, в інших – запаяна скляна трубка, всередині якої перебуває спеціально підібрана газова суміш. В третіх лазерах – це кювета зі спеціальною рідиною. Тому розрізняють лазери твердотільні, газові та рідинні (рис. 4.57).



а



б



в

Рисунок 4.57 – Класифікація лазерів за агрегатним станом: твердотільний (а), газовий (а), рідинний (в)

Під час нагрівання будь-яке тіло починає випромінювати тепло. Однак випромінювання теплового джерела поширюється в усіх напрямах, тобто заповнює тілесний кут 4π стерадіан. Формування спрямованого пучка від такого джерела, здійснюване за допомогою системи діафрагм або оптичних систем, що складаються з лінз і дзеркал, завжди супроводжується втратою енергії. Жодна оптична система не дозволяє одержати на поверхні освітлюваного об'єкта потужність випромінювання більшу, ніж у самому джерелі світла.

Принцип роботи лазерів. Якщо на збуджений атом падає фотон, енергія якого дорівнює енергії збудження, то взаємодія цього фотона зі збудженим атомом спричиняє повернення атома в основний стан із випромінюванням вторинного фотона. Напрям руху та енергія вторинного

фотона такі самі, як у фотона, що спричинив випромінювання, тобто виникають два фотони-"близнюки". Якщо в речовині буде багато збуджених атомів, то кожний із фотонів-"близнюків" спричинить появу двох нових "близнюків" тощо. У результаті виникне "лавина" фотонів із однаковими характеристиками.

Властивості лазерного випромінювання принципово відрізняється від властивостей оптичного випромінювання. Основними властивостями лазерного випромінювання є: монохроматичність (має дуже вузьку спектральну ширину); когерентність (найвищою когерентністю характеризуєтья ідеально монохроматична лінійно поляризована хвиля, яка є абстракцією і в природі не існує. Найбільш близькими до такої хвилі характеристиками є лазерне випромінювання. Тому говорять, що воно є когерентним); направленість (наприклад, при використанні спеціального фокусування промінь лазера, спрямований із Землі, дав би на поверхні Місяця світлову пляму діаметром приблизно 3 км (промінь прожектора висвітлив би поверхню діаметром 40000 км)*;* потужність (лазери є найбільш потужними джерелами світлового випромінювання. У деяких типів лазерів досягається потужність випромінювання більша за випромінювання Сонця у мільйон разів) і яскравість*.*

Види лазерів

Рубіновий лазер працює в імпульсному режимі. Існують також лазери неперервної дії. У газових лазерах цього типу робочою речовиною є газ. Наприклад, азотний лазер – джерело перервного семікогерентного випромінення в області 337 нм, де активною речовиною є молекулярний азот. Атоми робочої речовини збуджуються електричним розрядом. Застосовуються й напівпровідникові лазери безперервної дії. Вони вперше створені в Україні. В них енергія для випромінювання запозичується від електричного струму.

Створені дуже потужні газодинамічні лазери неперервної дії на сотні кіловатів. У цих лазерах "перенаселеність" верхніх енергетичних рівнів створюється при розширенні й адіабатному охолодженні надзвукових газових потоків, нагрітих до декількох тисяч Кельвін.

Лазерні пучки використовують у науці – як якісні джерела монохроматичного когерентного світла; у техніці – для різання, зварювання, свердління матеріалів; у хірургії й офтальмології, у військовій справі. За допомогою лазерного пучка здійснюють кабельний теле- і радіозв'язок, одержують голографічні зображення (рис. 4.58) [137].

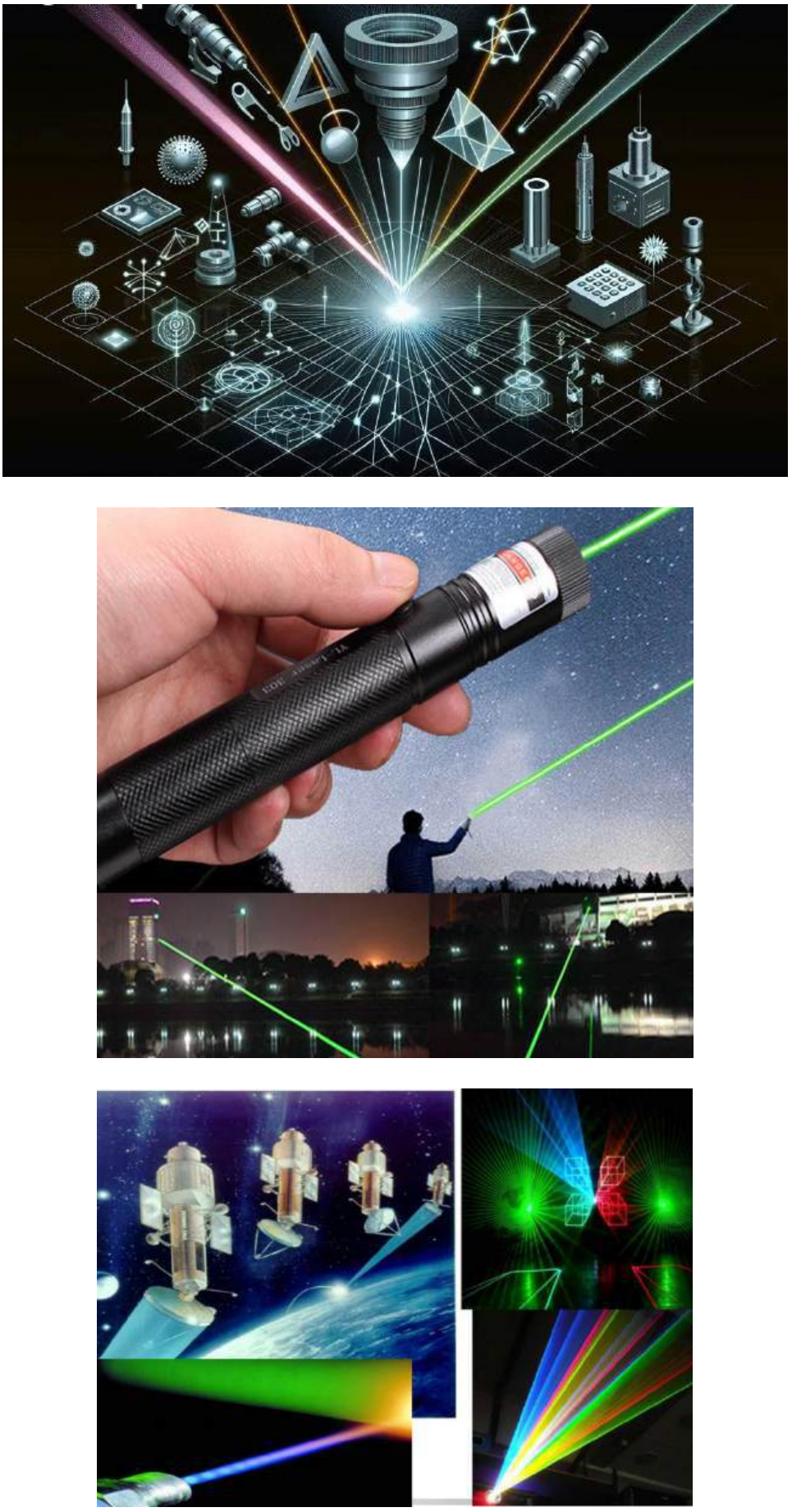


Рисунок 4.58 – Властивості та застосування лазерів у науці та техніці

Застосування лазерів у науці:

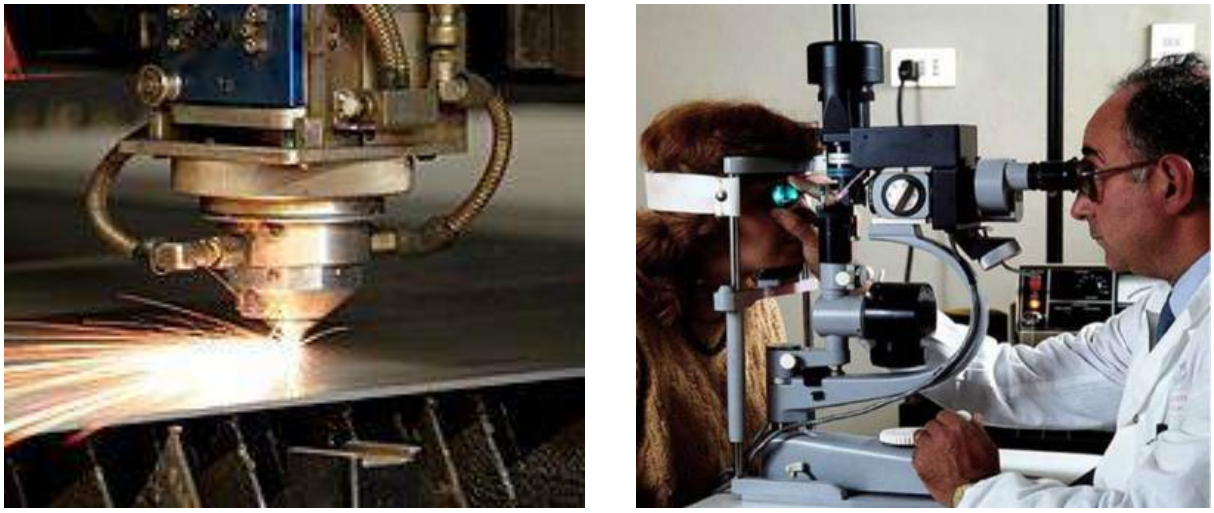
- лазери широко використовують в експериментах і дослідженнях у фізиці. Вони дозволяють створювати монохроматичне світло високої інтенсивності, яке використовують для вивчення явищ, таких як інтерференція, дифракція та створення умов для роботи з іншими оптичними системами;
- за допомогою лазерів є можливість передавати терабайти важливих даних. Лазерний зв'язок використовує невидиме інфрачервоне світло для надсилання та отримання інформації з вищою швидкістю передачі даних, надаючи космічним апаратам можливість надсилати більше даних на Землю за одну передачу, що прискорює процес роботи з отриманою інформацією для дослідників;
- лазери використовують для обробки та виготовлення наноструктур і наноматеріалів. Вони дозволяють точно обробляти матеріали на нанометровому рівні, що є важливим для розвитку нових матеріалів і технологій;
- у астрономії лазери можуть бути використані для створення штучних зірок або для вимірювання віддалі до астрономічних об'єктів. Наприклад, лазери можуть бути використані для стабілізації образу на астрономічних телескопах;
- оптика та фотоніка: лазери використовують для вивчення оптичних явищ, таких як дифракція, інтерференція, розсіювання світла тощо. Вони дозволяють науковцям створювати контрольовані світлові умови для досліджень;
- деякі люмінофори використовують як індикатори радіації;
- органічні люмінофори – люмогени – застосовують для виготовлення яскравих флуоресцентних фарб, люмінесцентних матеріалів, наприклад матеріалів для дорожніх знаків тощо.

Застосування лазерів у промисловості

У техніці лазери використовують для прошивання отворів, різання, зварювання, модифікування, програмованого термодеформування, маркування та гравіювання, балансування, вирощування тримірних виробів, текстурування мікрорельєфу поверхні, поверхневого очищення тощо.

Найбільше застосування у промисловості отримали лазерні методи обробки матеріалів: різання, зварювання та маркування. Під час зварювання сталей, які можуть вийти на структуру мартенситу, краще

використовувати гібридну технологію зварювання (рис. 4.59). Методи гібридного зварювання за продуктивністю випереджають електродугове зварювання і задовольняють вимогам поточного виробництва. В основному їх застосовують в автомобілебудуванні. Лазерне зварювання найбільш ефективне для аустенітних сталей. Використання скануючих пристроїв, що забезпечують коливання лазерного пучка, дозволяє зварювати деталі навіть за великих зазорів та неточній підгонці стику.



а б

Рисунок 4.59 – Лазерне розкроювання листового матеріалу (а) і застосування лазера в обстеженні та хірургії ока (б)

Спочатку лазерні технології у машинобудуванні використовували тільки для з'єднання простих, обертально-симетричних деталей, таких як компоненти автоматичної коробки передач, лазери в автомобільній промисловості. Зараз обробляють цілком весь корпус. Зварні шви на дахах і дверях, 3D-обрізки гідроформованих компонентів, загартовані дверні пружини або марковані елементи управління.

Застосування лазерів в офтальмології:

1. Лазеркоагуляція. В основі – короткочасне термічне пошкодження тканин ока. Ця методика включає лазеркоагуляцию судин рогівки, лазеркоагуляцию райдужки, сітківки, трабекулопластике, а також дію на рогівку інфрачервоного випромінювання.

2. Фотодеструкція. Завдяки створенню високої пікової потужності відбувається розсічення тканин. В основі лежить електрооптичний "пробій" тканини, що виникає внаслідок вивільнення великого обсягу енергії в обмеженому обсязі. При цьому в точці впливу лазерного ви-

промінювання утворюється плазма, яка абсорбує всю енергію і призводить до утворення ударної хвилі й мікророзриву тканини.

3. Фотопарунання і фотоінцізія. Ефект полягає в тривалій тепловій дії з випаровуванням тканини. Із цією метою використовують інфрачервоний вуглекислотний лазер для видалення поверхневих утворень кон'юнктиви і повік.

4. Лазерстімуляція. Із цією метою в офтальмології використовують низькоінтенсивне червоне випромінювання. Клінічні дослідження показали, що під час взаємодії лазерного випромінювання із різними тканинами, в результаті складних фотохімічних процесів спостерігається протизапальний, десенсибілізуючий ефект. Крім того, лазерне випромінювання може надавати стимулюючий вплив на процеси репарації, трофіку і захиснопристосувальні реакції, покращує функціональний стан судинної системи.

Застосування лазерів у хірургії

Є кілька типів операційних втручань, у яких використовують лазери. Хірурги застосовують лазери у загальній хірургії, для розрізу, коагуляції та видалення тканин. У сучасній медицині також застосовують лазерну терапію, що є привабливою темою через її мінімальний інвазивний вплив. Сьогодні лазери широко використовують для лікування та діагностики багатьох захворювань в онкології, офтальмології, дерматології, а також для проведення косметологічних та косметичних процедур. Для покращення результатів загоєння ран звичайні хірургічні інструменти замінили лазери. Згодом із використанням безлічі різних інструментів та пристроїв було створено нові лазери. В результаті вони використовуються у широкому спектрі медичних послуг [136].

Лазерне обладнання застосовують в індустрії краси (в косметології). Отже, в наш час лазери є незамінною технологією.

4.13. Поняття плазми та її практичне значення

Плазма – це високоіонізоване квазінейтральне суцільне середовище (рис. 4.60). Плазму вважають четвертим агрегатним станом речовини. Слово "іонізований" означає, що від значної частини молекул відокремлений принаймні один електрон. Слово "квазінейтральний" означає, що, незважаючи на наявність вільних зарядів (електронів та іонів), сумарний електричний заряд плазми дорівнює нулю [29].

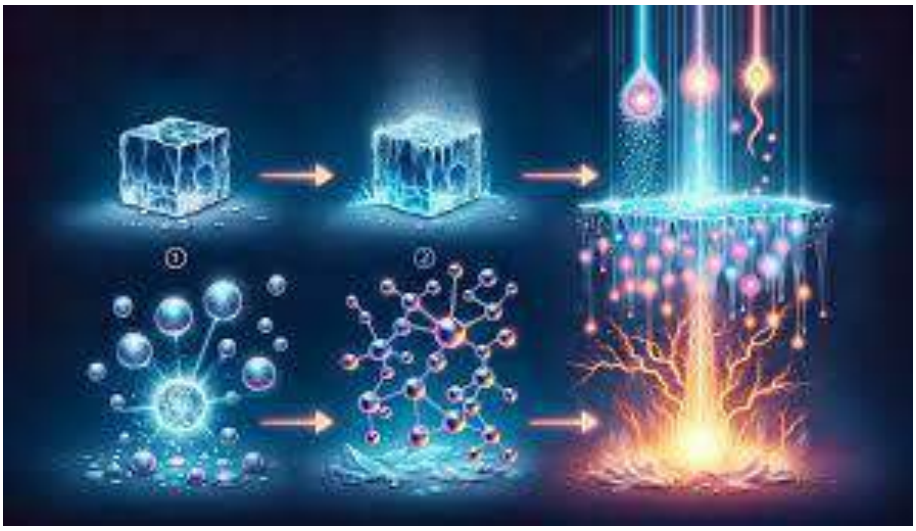


Рисунок 4.60 – Перехід від твердого тіла до плазми

Як і речовина в будь-якому іншому агрегатному стані, плазма є зовні нейтральною, оскільки є сумішшю позитивних і негативних іонів у такій кількості та концентрації, що їх заряди компенсують один одного. Плазма має властивості, схожі як на газоподібний стан речовини (частинки рухаються вільно та відстань між частинками значно більша за розмір частинок), так і на рідкий стан речовини (велика в'язкість) і твердий стан речовини (електрони рухаються вільно від ядер атомів).

Властивості плазми досліджує *фізика плазми*. Теоретично плазма описується рівняннями магнітогідродинаміки.

На відміну від газу або рідини, в плазмі має місце далекосяжна кулонівська взаємодія між частинками, що і визначає її різноманітні властивості. Плазмові об'єкти у природі – зорі, планетарні туманності, верхні шари атмосфери – іоносфера. Штучно плазма створюється у тліючому газовому розряді, газорозрядних лампах, масспектрометрах, термоядерному синтезі, при роботі іонних двигунів, генераторів тощо. Зокрема, плазму застосовують у термоелектронних і магнітоплазмодинамічних (МПД) генераторах – перетворювачах тепла безпосередньо в електричну енергію (минаючи перетворення в механічну енергію).

Плазма, зазвичай, поділяється на ідеальну і неідеальну, низькотемпературну і високотемпературну, рівноважну і нерівноважну. При цьому достатньо часто холодна плазма буває нерівноважною, а гаряча – рівноважною.

У повсякденному житті люди стискаються з плазмою у вигляді вогню, рідше – у формі блискавки або під час спостережень за сонцем і

зірками. У Всесвіті 99,9 % усієї речовини перебуває у плазмовому стані. Це зоряна речовина, речовина Сонця, гази міжзоряного та міжпланетного простору.

Для фізики щільної плазми справедливе твердження, що її можна вважати підрозділом фізики суцільних серед, оскільки під час дослідження щільної плазми розглядають макроскопічну поведінку частково або повністю іонізованої суцільної середи. Однак розріджена плазма не завжди адекватно описується методами механіки суцільних серед.

Якщо будь-яку речовину розігрити до дуже високої температури або пропускати через неї сильний електричний струм, то електрони починають відриватися від атомів. Те, що залишається від атомів після відриву електрона, має позитивний заряд і називається іоном, сам процес відриву електронів від атомів називається іонізацією. Внаслідок іонізації отримуємо суміш вільних частинок із позитивними і негативними зарядами. Цю суміш назвали *плазмою*.

Розрізнюють високотемпературну плазму, виникаючу за надвисоких температур, і газорозрядну плазму, виникаючу під час газового розряду. Будь-яка плазма характеризується мірою іонізації – відношенням числа іонізованих частинок до повного їх числа в одиниці об'єму плазми. Однак, процес отримання плазми за надвисоких температур не є самим кращим із-за складності його здійснення. Як в лабораторних дослідах, так і в техніці нормальним станом плазми вважають різні види електричних розрядів у газах. Під час електричного розряду через газ проходить струм. Носіями цього струму є електрони і іони, які утворяться внаслідок іонізації газу. Сам процес іонізації нерозривно пов'язаний із проходженням струму. Тільки завдяки наявності струму в газі постійно виникають нові іони та електрони, і міра іонізації підтримується на певному рівні. Будь то блискавка, електрична дуга, розряд в люмінесцентній лампі денного світла – у всіх випадках маємо справу із явищами в сильно іонізованій плазмі. Тим часом між плазмою, що утворилася під час нагрівання речовини разом із судиною, в якій вона знаходитися, і плазмою газового розряду є одна суттєва відмінність. Плазма газового розряду не є в термічному відношенні рівноважною. Вона нагрівається зсередини завдяки енергії, що виділяється у результаті проходження струму, і охолоджується із поверхні внаслідок контакту із холодними стінками газорозрядного приладу або ж із навколишніми шарами звичайного газу.

Плазма, що утворюється в умовах інтенсивних газових розрядів, може мати у багато разів більшу температуру, ніж метал, скло або нейтральний газ, які її оточують. Крім того, така плазма термічно нерівноважна ще в одному відношенні. Вона складається із суміші декількох компонентів, неоднаково нагрітих. Одними із цих компонентів є електрони, інші – позитивні іони, а також нейтральні атоми. Вони так само рівномірно перемішені між собою, як кисень і азот в атмосфері.

Плазма – ще маловивчений об'єкт не тільки в фізиці, але і в хімії (плазмохимії), астрономії та багатьох інших науках. Тому найважливіші технічні положення фізики плазми досі не вийшли із стадії лабораторної розробки. У стані плазми, як стверджують вчені, знаходиться переважна частина речовини Всесвіту: зірки, галактичні туманності, міжзоряна середа. Сонячний вітер також, на думку фізиків, є плазмою.

Запитання для самостійного контролю

1. Яке значення має фізика у розвитку інноваційних технологій?
2. Що вивчає термодинаміка? Що таке коефіцієнт корисної дії?
3. Обґрунтуйте умови роботи двигуна внутрішнього згоряння.
4. Поясніть принцип роботи парової та газової турбин.
5. Поясніть принцип роботи електричного холодильника.
6. Чому магнітне поле змушує обертатися рамку із струмом?
7. Поясніть принцип роботи генератора електричного струму.
8. Поясніть характер утворення постійного електричного струму.
9. Застосування коливань у створенні технологій.
10. Охарактеризуйте вільні та вимушені механічні коливання.
11. Вимушені коливання в електричному контурі. Явище резонансу.
12. Електромагнітні хвилі у мобільному зв'язку.
13. Сутність бездротової передачі інформації.
14. Принцип роботи мобільного телефону.
15. Акумулятори для мобільного телефону.
16. Назвіть основні канали витоку інформації.
17. Що таке електромагніти та їх практичне значення?
18. Сутність квантових генераторів світла (лазерів).
19. Що таке плазма та її практичне значення?

Література: [10, 20, 29, 31, 61, 70, 73, 96, 101, 112, 131, 134, 136 – 138, 141, 145, 150, 151, 154, 162].

Розділ 5. Інноваційні технології електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічної справи

5.1. Технології електронних мультимедійних видань та значення фізики у їх розвитку

Мультимедіа (лат. *Multum* + *Medium*) – комбінування різних форм представлення інформації на одному носієві, наприклад, текстової, звукової і графічної або останнім часом все частіше – анімації і відео. Характерна особливість мультимедійних об'єктів та продуктів – наявність гіперпосилання. Поняття, що означає сполучення звукових, відео, графічних, текстових і цифрових сигналів, а також нерухомих і рухомих образів і конструкцій. Так, мультимедійна база даних вміщує текстову і образну інформацію, відеокліпи і таблиці, і все це має однаково легкий доступ. Мультимедійна послуга дозволяє користувачеві посилати, отримувати і використовувати будь-яку форму інформації, взаємозамінну і взаємодоповнюючі за бажанням. Мультимедіа може бути представлена у вигляді основних складових: текст, аудіо Зображення, анімація, відео, інтерактивність (рис. 5.1, рис. 5.2) [154].





Рисунок 5.1 – Мультимедійні технології













Рисунок 5.2 – Мультимедійні технології

Мультимедійне електронне навчальне видання – це електронне видання, яке містить систематизований науковий матеріал із навчальної дисципліни, пройшло редакційно-видавничу обробку, поєднує традиційну статичну (текст, графіку) і динамічну інформацію різних типів (мову, музику, відеофрагменти, анімацію тощо), впливає одночасно на декілька органів чуття реципієнта (органи зору і слуху), має власну нелінійну структуру.

Однією із основних переваг мультимедійних електронних навчальних видань є їхня інформаційна насиченість. Вона виражається у тому, що мультимедіа – це середовище, інформаційно щільніше, ніж традиційні засоби передачі інформації. Одна сторінка тексту містить близько 2 Кбайт інформації. Викладач промовляє цей текст протягом 1 – 2 хвилин. За цей же час повноекранне відео може вмістити 1,2 Гбайти інформації. Важливу роль відіграє психофізіологічний чинник. Більшість людей запам'ятовує 5 % почутого і 20 % побаченого. Одночасне використання аудіо- та відеоінформації дає змогу підвищити цей показник до 40 – 50 %. Мультимедійні засоби впливають майже на всі органи чуття реципієнта. Поєднання друкованого тексту, графічного зображення, рухомого відео, статичних фотографій, аудіозаписів створює активне кероване комунікативне середовище, у якому здійснюється навчання. Застосування мультимедійних матеріалів скорочує час навчання майже втричі, а рівень запам'ятовування через одночасне використання зображень, звуку, тексту зростає на 30 – 40 %.

У розвитку технологій електронних мультимедійних видань важливу роль відіграє фізика. Це пов'язано із тим, що розгляд і розуміння фізичних аспектів, які є основою цих технологій, стає надзвичайно актуальним завданням. Завдяки фізичним принципам, які використовують під час розроблення електронних мультимедійних засобів, можна зрозуміти, як працюють пристрої, як формується візуальна і звукова інформація та як ці технології можна еволюціонувати у майбутньому. Отже, фізика визначає ключові аспекти розроблення і вдосконалення технологій електронних мультимедійних видань.

Перший та основний аспект цих технологій – це фізичні принципи електроніки, на яких базуються всі електронні пристрої. Основні концепції, такі як електричний струм, напруга, опір, та їхні взаємозв'язки, є основою для створення електронних схем і компонентів. Фізика допо-

магає розуміти, як електрони рухаються у провідниках, як формується електромагнітне поле, та які фізичні явища визначають закономірності функціонування транзисторів, інтегральних схем й інших елементів електроніки.

Другий аспект – це вивчення впливу фізичних законів на функціонування конкретних електронних компонентів. Наприклад, розуміння принципів оптики та хвильової природи світла визначає розроблення екранів та відображаючих технологій. Закони електродинаміки визначають принципи роботи антен і передавачів сигналу. Фізика кристалів визначає властивості напівпровідникових матеріалів, які використовують у виробництві мікросхем.

Таким чином, фізика визначає не лише теоретичні аспекти електроніки, але і конкретні напрями реалізації. Без глибокого розуміння фізичних принципів було б неможливо створити такі високотехнологічні пристрої, як смартфони, планшети або інші мультимедійні пристрої.

Фізичні аспекти відображення та передачі інформації:

1. Одним із фундаментальних елементів відображення інформації є фізика світла та електромагнітних хвиль. Процес формування візуальної інформації починається із випромінювання світла, яке може бути видимим або невидимим для людського ока. Фізичні властивості світ-ла, такі як довжина хвилі, інтенсивність і поляризація, визначають спосіб, яким можна сприймати образи.

Основи фотоелектричного ефекту та властивості різних матеріалів використовують у роботі фоточутливих елементів, які перетворюють світлові сигнали в електричні. Такі елементи відіграють ключову роль у відображенні та реєстрації інформації на різних пристроях, від фотокамер до дисплеїв.

2. Фізика відображення визначає розвиток різних технологій дисплеїв, змінюючи способи, якими можна сприймати інформацію. Починаючи з катодно-лучових трубок (CRT), фізика керування електронами дозволила створити перші телевізійні та моніторні пристрої.

За допомогою розуміння фізичних принципів, виникли інші технології, такі як рідкокристалічні дисплеї (LCD), які використовують властивості рідких кристалів для управління світлом. Далі, фізика світлодіодів (LED) стала основою для розвитку технологій світлодіодних дисплеїв, що відрізняються великою яскравістю та енергоефективністю.

Останнім часом OLED-технології стали популярними, оскільки вони використовують органічні світлодіоди, що дозволяє створювати гнучкі та тонкі екрани. Всі ці технологічні інновації ґрунтуються на фізичних принципах, що стали ключем до розуміння і вдосконалення технологій відображення інформації.

3. Фізика акустики грає важливу роль у створенні та передачі звукової інформації в мультимедійних виданнях. Процеси створення та розповсюдження звуку ґрунтуються на хвильових і акустичних принципах. Звук виникає внаслідок коливань повітряних мас, які утворюють звукові хвилі. Фізика акустичних систем та динаміків визначає, як ці хвилі перетворюються у звукові сигнали, які можна відтворити.

Фізичні параметри, такі як частота, амплітуда та фаза звукових хвиль, визначають тон і тембр звуку. Акустичні системи, такі як гучномовці та навушники, використовують розуміння фізичних законів для точного та якісного відтворення звукової інформації.

4. Акустичні принципи стають ключем до створення інтерактивних звукових ефектів, які додають глибину і реалізм до мультимедійних видань. Фізика розповсюдження звуку дозволяє симулювати просторовий звуковий ефект, який забезпечує враження присутності та наповнює простір звуковою інформацією.

Використання акустичних принципів у віртуальних і розширених реальностях дозволяє створювати звукові об'єкти, які можуть переміщатися в просторі. Фізика акустичних взаємодій дозволяє симулювати реакцію на звук у реальному часі, забезпечуючи взаємодію із аудіосередовищем. Усі ці аспекти указують на важливість розуміння фізичних принципів акустики для розроблення інноваційних та ефективних акустичних технологій у мультимедійних виданнях.

Квантові технології у створенні мультимедійних контентів:

1. Використання квантових технологій в мультимедійних контентах відкриває нові перспективи у обробці та передачі інформації. Квантові біти (квбіти) можуть забезпечити значні вигоди у швидкості обчислень і передачі даних. Квантова обробка інформації дозволяє вирішувати проблеми, які важко або навіть неможливо вирішити за допомогою класичних обчислювальних методів.

У мультимедійних контентах, де величезна кількість даних обробляється та передається, квантові технології можуть поліпшити продук-

тивність і швидкість обчислень. Квантова передача даних також може забезпечити високу захищеність інформації від кібератак.

2. Використання квантових обчислень може призвести до створення нових форматів мультимедійних продуктів, які революціонізують спосіб взаємодії з контентом. За допомогою квантових алгоритмів можна розробляти більш ефективні методи обробки та аналізу значних обсягів даних, що використовуються у віртуальній реальності, іграх, стрімінгових послугах та інших мультимедійних платформах.

Особливий інтерес представляє квантова апроксимація, яка дозволяє ефективно стискувати та передавати мультимедійний контент із високою якістю. Крім того, квантові сенсори та обладнання можуть покращити сприйняття та інтерактивність віртуальних середовищ, роблячи взаємодію користувача із мультимедійним контентом ще більш неперевершеною. Загалом, використання квантових технологій у створенні мультимедійних контентів відкриває широкий спектр можливостей, які можуть привести до нових та інноваційних вирішень у сфері розваг та інформаційних технологій.

Вплив фізики на розвиток сучасних мультимедійних платформ:

1. Фізика відіграє ключову роль у розробленні та функціонуванні сучасних мультимедійних платформ. Одним із прикладів використання фізичних законів є робота дисплеїв. Закони оптики та електромагнетизму визначають, як світло взаємодіє з екраном, що дозволяє створювати яскраві та чіткі зображення. Технології, такі як OLED та QLED, базуються на фізичних принципах, щоб забезпечити кращу якість зображення та енергоефективність.

Фізика гратових процесорів визначає ефективність обчислень та графічну продуктивність. Закони термодинаміки також мають велике значення в управлінні тепловим режимом електроніки мультимедійних пристроїв, що впливає на їхню надійність і тривалість роботи.

2. Фізичні інновації визначають нові можливості та покращення у сфері мультимедійних технологій. Наприклад, використання квантових точок в дисплеях дозволяє отримувати більш широкий колірний спектр, що покращує якість відтворення кольорів. Фізика акустики сприяє розвитку технологій просторового звучання, забезпечуючи глибокий і реалістичний звуковий ефект. Технології штучного інтелекту, які базуються на фізичних принципах обчислень, дозволяють персоналізувати та оп-

тимізувати вміст для кожного користувача. Фізична криптографія та методи захисту інформації використовують для забезпечення конфіденційності та безпеки мультимедійних даних.

Таким чином, фізика впливає на всі аспекти створення та використання мультимедійних продуктів, визначаючи їхню якість, продуктивність і функціональність. Інновації у фізичних науках надають технологіям можливість розвиватися і вдосконалюватися, створюючи нові можливості для користувачів у світі мультимедіа.

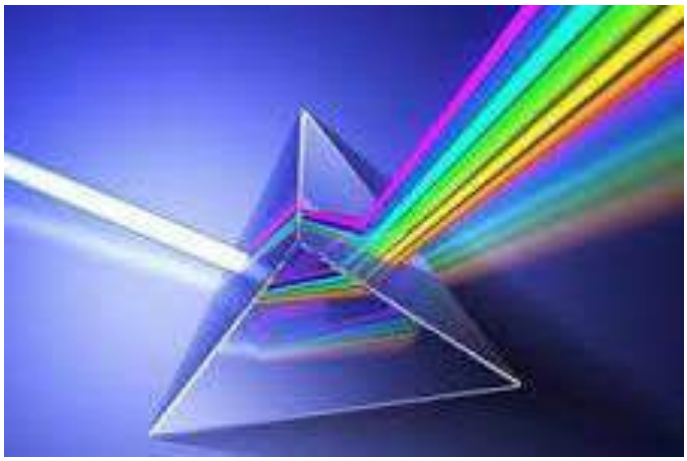
5.2. Голографія та її практичне застосування

Голографія, як і фотографія, що відома людству ще із XIX століття, є одним із способів одержання зображень. Ці обидва терміни походять із грецької мови, однак, якщо слово фотографія походить від слів "photo" і "graphe", що означають "світло" і "малюнок", то перша частина слова голографія походить від слова "holos", що грецькою мовою означає "цілий".

Отже, *голографія* – це "малювання цілого". Що це означає? У стандартній фотографії можна зберегти лише двовимірне зображення того, що бачимо у тривимірному світі. Ідея голографії полягає в тому, щоб записати інформацію за весь даний об'єкт, а не лише за одну його сторону. Щоб можна було, використовуючи записану інформацію, відтворити образ цілого об'єкта [132].

Голографія має декілька визначень, найпростішим із них є те, що *голографія* – це отримувана за допомогою лазера об'ємна фотографія. Однак це визначення не зовсім задовольняє поняття, оскільки є безліч інших видів тривимірної фотографії. Проте, в такому визначенні показано найбільш суттєве: *голографія* – це технічний метод, який дозволяє "записувати" зовнішній вигляд того або іншого об'єкта; із її допомогою виходить тривимірне зображення, що виглядає так, як предмет в реальності, а застосування лазерів має вирішальну роль для розвитку голографії.

Отже, *голографія* – це наступний ступінь реєстрації візуальної інформації, що дозволяє записувати і відтворювати вже тривимірні зображення. Голограми об'ємні, оскільки значно більше схожі на реальні об'єкти, ніж фотографії (рис. 5.3).



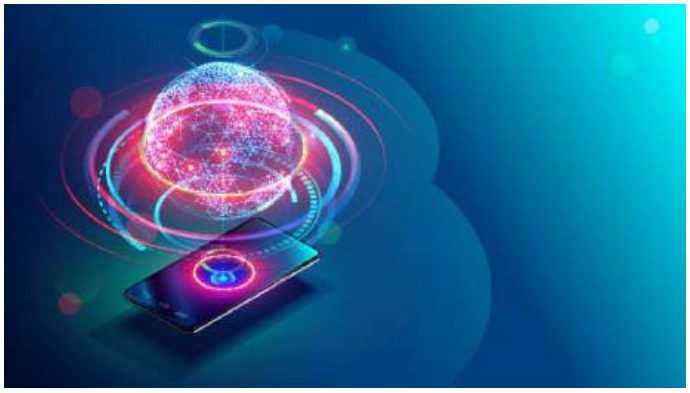






Рисунок 5.3 – Технології створення голограм

Об'ємне зображення, отримуване в результаті заломлення променів, почало вивчатися відносно недавно. Деніс Габор, англійський вчений, у 1948 році вперше визначив поняття голографії. Це відкриття було дуже важливим і дало не малий поштовх, але йому не надали великого значення. Дослідники, які працювали в 1950-ті роки, страждали від відсутності джерела світла, що володіє когерентністю (корельованим протікання в часі й у просторі декількох випадкових коливальних або хвильових процесів, яке дозволяє отримувати при їхньому додаванні чітку інтерференційну картину), – дуже важливою властивістю для розвитку голографії. Перший лазер виготовили у 1960 році. За допомогою цього приладу можна отримати світло, що має достатню когерентність. Юріс Упатнієкс та Іммет Лейт, американські вчені, використовували його для створення перших голограм. Із їх допомогою виходили тривимірні зображення предметів.

Отже, *голографія* – це відносно новий напрям в когерентній оптиці, розвиток якого пов'язано із появою і вдосконаленням джерел когерентного випромінювання – лазерів. Основним принципом голографії є реалізація запису довільного хвильового поля об'єкта на світлочутливому матеріалі при взаємодії його із заданою опорною хвилею. Голографічний спосіб двоступінчастий: спочатку реалізується запис, а потім відновлення хвильового поля об'єкту.

У основі методу голографії лежить інтерференційний принцип, згідно із яким для виявлення фазової інформації, що міститься в хвилі, треба створити інтерференцію досліджуваної (об'єктної) хвилі із деякою допоміжною (опорною) хвилею. Амплітуда результуючої хвилі міститиме інформацію як про амплітуду, так і про фазу об'єктної хвилі. При цьому обидві хвилі, що інтерферують, повинні мати високу когерентність, щоб забезпечити достатньо чітку інтерференційну картину на фотопластині (голограмі).

У науці і техніці голографію застосовують для інтерферометрії. Особливість голографічної інтерферометрії полягає в тому, що хвильовий фронт, який досліджується, фіксується на голограмі.

Голографію часто використовують для захисних зображень, надрукованих на кредитних картах і паспортах, а також для отримання медичних зображень, збереження і захисту інформації. Також голографія необхідна не лише для реалістичних голограм і дисплеїв, а і є

надзвичайно зручним способом збільшувати, наприклад, швидкість передачі даних, адже їх можна зручно стиснути для волоконно-оптичних ліній зв'язку. За суттю, вона допомагає записувати і відтворювати зображення тривимірних об'єктів, але фіксує не сам предмет, а структуру відбитої від нього світлової хвилі. У звичайній фотографії реєструється тільки амплітуда світлових хвиль, і її розподіл в межах двовимірних світлоприймачів. У голографії можна передбачати і фіксувати не лише амплітуду світлових хвиль, а і їхню фазу, завдяки когерентним властивостям лазера, тобто узгодженості світлових пучків, що і утворює чітку інтерференційну картину. Голограма має багато ракурсів, дозволяючи довільно міняти точку спостереження, ніби "заглядаючи" за об'єкт. Щоб утворити об'ємне зображення на фотопластинці, лазер ділять на два промені, де один спрямовується одразу на об'єкт і висвітлює його (опорний промінь), а інший відбивається від об'єкта і є предметним. Так ці хвилі складаються, утворюючи інтерференційну картину, і формують голограму, яку потім можна побачити, посвітивши на неї хвилею тієї ж довжини, що і опорна. У результаті можна побачити світло, що відбивалося від об'єкта.

Голографічний метод запису хвильового фронту знаходить широке застосування в різних областях науки і техніки і має перспективи в майбутньому. Голограму можна використати як комплексний оптичний елемент. Такий оптичний елемент може виступати в багатьох якостях. Відомі такі види голограм, що грають роль лінз (зонна гратка), розкладаючі світло в спектр (дифракційні гратки), інтерференційні фільтри (шари Ліппмана) тощо. Голографічні дифракційні гратки містять понад 5000 смуг на 1 мм. Метод голографії дозволяє записувати на заданій малій дільниці фотоемульсії (особливо багатошарової) в 100 – 400 разів більше сторінок друкарського тексту, ніж методи звичайної мікрофотографії. На звичайну фотопластину розміром 32 – 32 мм^2 можна записати 1024 голограми, кожна із яких займає площу в один квадратний міліметр. Одна голограма – сторінка книги, одна пластинка – ціла велика книга. Новим є застосування голографії під час розпізнавання образів і символів, що дозволить створити читаючі автомати із високою надійністю.

Метод голографічної інтерферометрії дозволяє дослідити зміни (деформацію), що відбулися в об'єкті, які спостерігаються під якою-

небудь зовнішньою дією. У основі реєстрації таких малих деформацій лежить явище інтерференції двох хвиль, що існували в різні моменти часу. Для цього на одну і ту ж фотопластину реєструють дві голограми, отримані від одного і того ж досліджуваного об'єкта в різні моменти часу. Найменша зміна форми об'єкта через деформацію в проміжку між двома реєстраціями змінює фазу предметної хвилі. Отже, якщо в проміжок часу між двома експозиціями сталися якісь деформації, то під час просвічування цих голограм можна побачити зображення об'єкта, перерізане інтерференційними смугами, за формою яких можна судити щодо характеру деформації. Точність вимірювання цього методу дуже висока: він дозволяє виміряти деформації порядку десятої частки мікрона. Можливості контролю розмірів, форми і якості обробки складних деталей за допомогою голографії зроблять цей метод найбільш цінним у виробництві.

Цінність голографічної інтерферометрії полягає ще і в тому, що вона дозволяє за будь-яких відносних вимірювань обійтися без еталона порівняння, наприклад, під час деформації поверхні або переходу із одного стану в інший початковий і кінцевий стани можуть служити еталонами один відносно одного. Крім того, матеріалізована об'ємна картина хвиль інтенсивності здатна відтворювати хвильове поле із усіма його параметрами – амплітудою, фазою, спектральним складом, станом поляризації і навіть зі змінами цих параметрів у часі.

Одним із прикладів застосування голографії є німецький цирк Ронкаллі, який відмовився від номерів із тваринами. Тепер слони, коні та риби з'являються на арені у вигляді голограм.

Можливо голографія, в традиційному понятті, рідко використовується, але її відгалуження в технологічній сфері тільки розвивається.

5.3. Значення фізики у розвитку видавництва і поліграфії

У світі, де розвиток технологій надзвичайно швидкий, розуміння фізичних законів і їх використання в практиці є ключовим чинником успішної діяльності в сфері видавництва та поліграфії. Від кольорових рекламних брошур до важливих політичних документів, фізика допомагає реалізовувати ідеї, виражати думки та сприяє поширенню знань та інформації (рис. 5.4) [3, 42, 123].



Рисунок 5.4 – Сучасні технології поліграфії

Перш за все, фізика впливає на технічний аспект видавництва та поліграфії. Зв'язок між фізикою і технічними аспектами видавництва та поліграфії надзвичайно важливий і визначає успішність процесу створення друкованих матеріалів. Фізичні принципи впливають на кожен аспект цього складного процесу, починаючи від друку і завершуючи фінішними роботами. Наприклад, закони руху визначають рух друкарської головки та швидкість переміщення паперу. Термодинаміка стосується регулювання температури і вологості, що впливають на якість друку та сушіння друкарських фарб. Також, важливу роль відіграє оптика у поліграфії. Використання світла, лінз та колірних просторів дозволяє досягнути точності кольорів і деталей на друкованих матеріалах. Фізичні принципи допомагають встановити і контролювати параметри друкарських процесів. Наглядним прикладом є розуміння взаємодії між тиском, температурою і швидкістю у процесі друку, що дозволяє досягти однорідності та високої роздільної здатності на друкованих поверхнях.

Другою областю, де фізика є важливою для видавництва і поліграфії – це вдосконалення друкарського обладнання і розроблення нових технологій для видавництва і поліграфії. Сучасні досягнення в галузі фізики та інженерії відкривають безмежні можливості для поліпшення ефективності, точності та якості поліграфічних процесів. Один з найяскравіших прикладів цього – розроблення нових видів чорнил для друку, які використовують наноматеріали.

Наноматеріали – це матеріали, які мають структуру та властивості на нанометровому рівні, тобто на дуже дрібних масштабах. Вони включають у себе наночастинки, нанотрубки, наноплівки та інші наноструктури, які можуть бути використані у поліграфії для покращення процесу друку. Однією із головних переваг використання наноматеріалів у чорнилах для друку є їхні унікальні фізичні властивості. Наприклад, наночастинки можна використати для створення чорнил, які мають підвищену стійкість до світла та дії навколишнього середовища. Це означає, що друковані матеріали, створені з використанням наноматеріалів, залишатимуться яскравими і чіткими протягом тривалого періоду часу, не втрачаючи своєї якості через вплив зовнішніх чинників.

Крім того, наноматеріали можуть бути використані для створення чорнил для друку із спеціальними електрокондуктивними властивостями. Це може бути корисним для розроблення електронних друкованих схем, мікрочипів та інших електронних компонентів, які можуть бути включені безпосередньо в поліграфічну продукцію.

Додатково, застосування наноматеріалів у чорнилах для друку може дозволити досягти вищого рівня деталізації та мікроскопічних деталей під час друкування, що важливо для виготовлення високоякісних книг, брошур, пакувальних матеріалів та інших поліграфічних виробів.

По-третє, фізика, як наука, є важливим інструментом у розумінні та вдосконаленні процесів друкування та збереження друкованих матеріалів, таких як книги, журнали, газети тощо. Дослідження властивостей матеріалів, із яких вони виготовлені, в різних умовах температури і вологості, може допомогти в покращенні якості та тривалості зберігання цих матеріалів. Одним із прикладів є дослідження властивостей паперу. Фізичні властивості паперу, такі як його структура, густина, вологовбирання і розтягнення, можуть бути вивчені за допомогою різних фізичних методів. Дослідження змін цих властивостей зі зміною тем-

ператури і вологості дозволяє визначити оптимальні умови зберігання для паперових матеріалів. Наприклад, знання відносно того, як швидко або повільно папір поглинає вологу, може бути корисним для створення умов зберігання книг у бібліотеках або архівах для запобігання їх пошкодженню. Крім того, дослідження властивостей друкованих матеріалів також дозволяє вдосконалити технології друку. Наприклад, розуміння взаємодії між фарбою для друку та папером може призвести до розроблення нових типів фарб, які були б більш стійкими до впливу вологи або температурних змін. Це може покращити збереження друкованих матеріалів, збільшуючи їх термін служби та зберігаючи їх якість протягом тривалого часу.

Зрештою, фізика важлива для розуміння процесів передачі інформації і збереження даних. Фізика інформації, яка включає в себе теорію кодування, теорію інформаційних каналів і обробку сигналів, допомагає розробляти більш ефективні методи зберігання та передачі даних, що є критично важливим для видавництва і поліграфії. Наприклад, теорія кодування вивчає методи перетворення інформації в послідовності бітів або символів, які зручно зберігати і передавати. У видавництві, це може бути використано для створення більш ефективних форматів файлів, які дозволяють зменшити розмір інформації без втрати якості, що важливо під час збереження та обміну текстовими і графічними даними. Також в поліграфії розуміння теорії інформаційних каналів допомагає вдосконалювати способи передачі графічних даних, що покращує якість друку та зменшує спотворення під час передачі.

Отже, фізика виявляється незамінною складовою розвитку видавництва та поліграфії, і ця важлива роль стає ще більшою в сучасному світі, який насичений технологічними інноваціями. Фізичні закони та принципи допомагають вдосконалювати друкарське обладнання, розробляти нові методи передачі та збереження інформації, а також створювати інноваційні матеріали і технології для поліграфії. Розуміння фізичних процесів дозволяє підвищити ефективність та якість друку, а також розширює можливості в створенні друкованої продукції та інформаційних продуктів. Фізика інформації відкриває нові можливості у сфері зберігання та обробки даних.

Зважаючи на ці всі аспекти, можна впевнено стверджувати, що фізика має критичне значення для сучасного видавництва та полігра-

фії. Її вплив сприяє розвитку цих галузей, роблячи їх більш доступними та ефективними для глобального споживача і надаючи можливість створювати високоякісну друковану продукцію та інформаційні продукти. Таким чином, фізика є необхідним інструментом для досягнення інновацій та росту в цих галузях, і її роль важко переоцінити.

5.4. Друкарські засоби інформації та стан поліграфії на сучасному ринку

Останніми роками процеси підготовки та виробництва друкарських засобів інформації проходять суттєві зміни. Особливо це відноситься до видавничого процесу підготовки та обробки авторських оригіналів, де ця робота немислима без сучасних комп'ютерних видавничих систем, які базуються на електроніці, комп'ютерній і лазерній техніці, що революціонізували цей процес. Стрімко розвивається цифровий друк, Інтернет, інтерактивне телебачення, мобільні засоби зв'язку. Вони є елементами інформаційної революції, яка змінює економіку на очах. У результаті цієї революції в поліграфії зменшуються тиражі, друкарські видання тепер можуть орієнтуватися на більш вузькі групи споживачів, аж до конкретної людини.

В даний час існує велика кількість друкарських засобів інформації: книги, журнали, упаковки (із інформацією щодо товару), банкноти тощо, якими користуються щодня люди. Крім них, розвиваються дуже швидко електронні засоби інформації. Вони з'явилися у XX столітті на основі комп'ютерних технологій, Інтернету та доповнюють традиційні засоби інформації: радіо та телебачення, нові форми відео- та аудіоінформації, записані на лазерних компакт-дисках (CD-ROM, DVD-ROM); анімацію (мультиплікацію) та, нарешті, мультимедія. Існують такі нововведення електронних засобів інформації як гнучкий електронний папір, електронні записники, електронні фарби тощо (рис. 5.5).

Мультимедія – це поняття пов'язане із комп'ютерами і пристроями виведення інформації (монітор тощо), із їх можливостями відтворювати інформацію різних форм (текст, зображення, анімацію тощо). Публікація в Інтернеті – це мультимедійний продукт. Паперове видання – також мультимедійний продукт, проте, із ним не можна працювати в динаміці та інтерактивному режимі. Ці переваги мають електронні пристрої (комп'ютер).



Рисунок 5.5 – Друкарські та електронні засоби інформації

Зараз у поліграфічній промисловості України спостерігається процес технічного переоснащення підприємств. Це пов'язано із бурхливим розвитком техніки і технології, із високими вимогами до якості друкарської продукції, збільшенням обсягів випуску надрукованої реклами та пакувальних засобів, появою великої кількості невеликих підприємств, які орієнтовані як на певні види продукції, так і на універсальні.

Ринок друкарської продукції останнім часом динамічно розвивається. Збільшується попит на багатобарвні і високоякісні видання, випущені великим тиражем.

Основним чинником створення сучасного обладнання є широке застосування обчислювальної, лазерної, електронної і телевізійної техніки, автоматизованих систем підготовки видань до друку, що дозволяє виконувати автоматично налагодження вузлів і механізмів зі зміною формату, товщини паперу тощо [95, 117].

Поліграфію на сучасному ринку можна поділити на 3 групи:

1. Традиційна (аналогова) поліграфія листового та рулонного друку. Вона використовує всі класичні способи друку (високий, офсетний, глибокий, тампонний друк, флексографію тощо). За обсягом друкованої продукції вона посідає перше місце. Це великі тиражі книго-журнальних видань, упаковки та друковані реклами одно- та багатобарвного друку.

Технології, які використовують у цій групі, мають одну особливість: всі процеси, включаючи виготовлення друкованих форм незалежно від методу друку, виготовляються окремо від друкарської машини і з нею не пов'язані. Перевагою традиційної поліграфії є висока якість друкованої продукції та зниження собівартості одиниці виробленої продукції за умови збільшення тиражу видання.

2. Цифрова поліграфія. Тут усі процеси – від створення оригіналу чи макету видання до готового видання – пов'язані між собою як технологічно, так і системно. Друкована форма виготовляється безпосередньо у друкарській машині до друку тиражу безпосередньо у процесі друку тиражу. На відміну від технології інших груп, в умовах цифрової поліграфії окремі екземпляри тиражу можуть за змістом відрізнятись один від одного. Найбільш поширені способи друку – електрографія, офсетний друк. У сучасному динамічному видавничому світі термін виходу видання на ринок є визначальним чинником. Оснащена за останнім словом техніки цифрова поліграфія дозволяє редагувати, коригувати друк у дуже стислий термін. Цифрові електронні системи, які включають ефективні високошвидкісні друкарські пристрої з цифровим керуванням (які працюють за технологією цифрового друку), дозволяють випускати адресні видання, орієнтовані на конкретну аудиторію, швидко та якісно. Сильними сторонами цифрової поліграфії є оперативність та високий рівень персоналізації окремих екземплярів тиражу. Розвиток цифрової поліграфії стимулює світова комп'ютерна мережа – Інтернет.

3. Оперативна поліграфія. Її особливістю є оперативне тиражування вже готового видання чи готового оригінал-макету, незалежно від місця виготовлення тиражу. Характерний спосіб друку – електрографія.

Друкарня майбутнього буде виглядати так. Вона перетвориться на видавничий дім, де поєднуватимуться друкарські та електронні засоби інформації. Під одним дахом уживатимуться різні машини: офсетні, цифрові, електро-фотографічні, флексографічні тощо (рис. 5.6).



а



б



в

Рисунок 5.6 – Поліграфія на сучасному ринку: оперативна поліграфія (а, б); міні-типографія (в)

Планується подальший розвиток комбінації друкарських та електронних засобів інформації. Виробництво буде засноване на цифровому взаємопроникненні засобів виробництва та технологічного процесу. Ведеться і вестиметься велика робота із стандартизації, яка є основою зниження витрат та підвищення якості друкованої продукції.

Основними тенденціями розвитку друкарської продукції є:

1. Виготовлення упаковок та етикеток, рекламно-комерційного друку, газет, каталогів, ілюстрованих журналів та книг.

2. Зміни у традиційному друку: "друк без людини" – новий тип поліграфічного підприємства із мінімальною кількістю персоналу – на основі автоматизації та комп'ютеризації технологічних процесів (наскрізне цифрове управління – оригінали повинні надходити в цифровій формі).

3. Застосування нових фарб та підвищення мальовничості видань. Видання малотиражної багатобарвної продукції.

4. Застосування нових комп'ютерних цифрових технологій у додрукарській підготовці: "Комп'ютер – фотоформа"; "Комп'ютер – друкарська машина". Об'єднання у "цифропотоці" додрукарської та післядрукарської обробки всіх етапів виробничого процесу.

5. Дизайн друкованих видань. Створення нових засобів інформації.

Ринок друкарських засобів інформації, як і раніше, залишиться привабливим, оскільки людство не може відмовитися від книг, упаковок та реклами. Водночас отримають розвиток нові засоби інформації:

1. Виготовлення мультимедійних продуктів (CD-ROM, сайти в Інтернеті, друковані медіа разом із електронними засобами).

2. Застосування Інтернету як нової форми збуту продукції. Покупець може цілодобово здійснювати вибір потрібної продукції із великого асортименту товарів. Інтернет стимулює придбання комп'ютерів, через нього здійснюються угоди, торгові операції.

3. Поряд із Інтернетом важливу роль займатиме CD-ROM. На ньому можна зберігати у великій кількості інформацію, ілюстрації, відеосюжети. Однак Інтернет має більші можливості, для чого потрібна широка географічна (світова) мережа.

4. Значним попитом зараз користуються гібридні форми передачі, тобто комбінації різних носіїв інформації: журнал + CD-ROM; Інтернет + CD-ROM або Інтернет + друк. Як бачимо, мультимедійна продукція також змінюється і надалі набуватиме нових форм.

5.5. Цифровий друк та перспективи його розвитку

Початок XX тисячоліття у поліграфії ознаменував великі зміни у всіх методах друку. Сучасний метод друку – це високомеханізований та автоматизований метод друку, в якому більшість технологічних операцій виконують практично без втручання людини або за її мінімальної участі. Одним із найпопулярніших сучасних методів друку в поліграфії є цифровий друк [161]. За його допомогою можна друкувати документи безпосередньо із комп'ютера, без додаткових процесів додрукарської підготовки, які дуже трудомісткі і характеризуються застосуванням великої кількості хімічних речовин, особливо традиційних фотохімікатів, які екологічно шкідливі для здоров'я робітників. Це суттєво економить час на процес виробництва друкованої продукції, а також дозволяє суттєво покращити умови праці робітників.

Цифровий друк – це метод друку будь-яких матеріалів на різноманітних носіях (самоклеючий папір, картон, звичайний папір). Існує багато методів цифрового друку, таких як, наприклад, струменевий друк, лазерний друк або 3D-друк (рис. 5.7) [52, 118].



Рисунок 5.7 – Цифровий друк

Цифровий друк – це технологія отримання відбитків із використанням змінної друкарської форми. Змінами у друкарській машині на кожному етапі управляє комп'ютер видавничої системи. Друк малих тиражів методом цифрового друку є дуже вигідним і рентабельним завдяки економії на додрукарських коштовних операціях. При цьому вартість одного відбитку на цифровому апараті не залежить від тиражу.

Цифровий друк, за визначенням швейцарського Союзу розвитку наукових досліджень у поліграфічній промисловості Ugra, є перенесенням по точках тексту та ілюстрацій із цифрової пам'яті ЕОМ на друкований матеріал. Це визначення є дуже ємним і містить дві важливі характеристики цифрового друку. По-перше, дані щодо зображення повинні бути представлені в цифровому вигляді і доступні для цифрового процесу із відповідною швидкістю. По-друге, суттєві вимоги до технічних засобів, що застосовують у цифровому друці: цифрові друкарські машини повинні забезпечувати безперервне перенесення даних із швидкістю 500 Мбіт/с і більше.

Чому ж цифровий друк стає все більш актуальним? Насамперед це обумовлено глобальними змінами поліграфічного ринку. Реклама стає дедалі вузьконаправленою, що є однією із головних причин явно вираженої тенденції зниження тиражів. Однак і традиційна друкарська техніка стає дедалі витонченішою, відповідаючи сучасним потребам отримання якіснішої продукції – із великою кількістю фарб, лакуванням, вирубуванням тощо. У відповідь на часту зміну малотиражних замовлень конструктори розробляють спеціальні модулі, що автоматизують управління подачею фарби, зміну друкарських форм і вбудоване експонування друкарських форм. Це, безсумнівно, скорочує час переналагодження машин під час переходу до нового тиражу, але все ж таки не може задовольнити потреби, тенденцією виробництва індивідуалізованої друкарської продукції. Індивідуалізація передбачає виробництво друкарської продукції, що несе інформацію, яка орієнтована на цільові групи та передбачає наявність усередині одного замовлення змінних елементів. Прикладом можуть бути прайс-листи або рекламні проспекти, у яких указують різні товари та ціни різних груп одержувачів. Традиційній друкарській техніці таке завдання не під силу, якщо вона не обладнана спеціальною секцією для друкування змінної інформації.

Найпростішим прикладом може бути нумератор, а найбільш ефективний варіант може включати систему оперативного струминного друку. Але подібне друкування імені, адреси та звернення до адресата вже не задовольняє вимогливих рекламодавців, які бажають отримати повністю персоніфікований друк, коли жоден із екземплярів замовлення не буде ідентичним іншому. Таким чином, оптимізувати спрямованість інформації відповідно до індивідуального профілю інтересів споживача

можна лише із застосуванням цифрового друку. Цифровий друк також часто визначають як "спосіб, у якому друкування може виконуватися безпосередньо із цифрового масиву даних додрукарських процесів і немає необхідності в окремому виготовленні друкарських форм поза друкарською машиною". При цьому з'являється можливість економічного друкування тиражів, починаючи від одного екземпляра.

Традиційно під час виведення інформації на папір (тобто під час друку) користуються ударним контактним способом. Але з появою цифрового друку зображення формується на проміжному носії – барабані, який вкритий шаром напівпровідника. Записане на ньому приховане (невидиме) зображення, яке обумовлене зміною заряду окремих ділянок, покривається спеціальним барвником (тонером) і потім переноситься на папір. У цьому випадку інформація із носія на папір переноситься безударно, а тому такий друк називається безконтактним.

Виходячи із цього, технології цифрового друку часто характеризують терміном "безконтактний друк". У всіх подібних машин є одна спільна риса: у них генерується нова друкарська форма для кожного екземпляру і таким чином зазначені системи друкують змінні дані. Ці технології часто називають також "динамічним" цифровим друком, оскільки вони конкурентоспроможні тільки під час друку відносно невеликих тиражів, на відміну від "статичного" цифрового друку або традиційних друкарських машин. Створення нової друкарської форми займає деякий час, навіть у тому випадку, коли сторінки готуються до виведення під час друку.

Є безліч фізичних ефектів для реалізації безконтактних способів друку: електрофотографія та струминний друк, іонографія, магнітографія, термографія, фотографія. Постійно ведуться роботи із пошуку та розроблення нових фізичних ефектів для створення нових способів безконтактного друку. У цьому полягає перспективність розвитку цього виду друку.

У електрофотографії застосовують друкарську форму. Зображення формується на барабані за допомогою електростатичних сил. Для виявлення зображення використовують відповідний тонер. Далі під впливом електростатичних сил зображення із описаного вище тонера перекладається на поверхню, що запечатується. Після цього воно закріплюється, а також фіксується за високими значеннями тиску і тем-

ператури. Однак, цей метод безконтактного друку у сфері поліграфії вважається достатньо старим.

Під час струминного друку фарба переноситься із системи сопел безпосередньо на матеріал, що запечатується. Обладнання, що працює на основі струминного друку із певним потоком чорнила, розташовується у відділі додрукарських процесів друкарні. Саме на такому пристрої можна надрукувати аркуш для того, щоб оцінити його вигляд перед виведенням друкованої форми. Такі пристрої достатньо широко представлено на ринку.

У іонографії зарядове зображення носія формується безносередньо зарядженими частинками від іонного джерела.

Магнітографія заснована на отриманні зображення на поверхні носія, покритого магнітодіелектриком.

Термографія заснована на термічному ефекті (термопереносі) та застосуванні спеціальної барвної стрічки. Цей спосіб друку дозволяє отримувати відбитки без дотику форми з папером.

Фотографія використовує спеціальний світлочутливий папір.

Шовкографія. Технологія нанесення шовкографії (рис. 5.8) полягає в тому, що основу, на яку наноситься малюнок, розташовують із протилежного боку від фарби. Фарба подається крізь форму дуже тонким шаром. Завдяки гнучким і еластичним ракелям вся ця конструкція приймає форму виробу, на який наноситься друк [158].

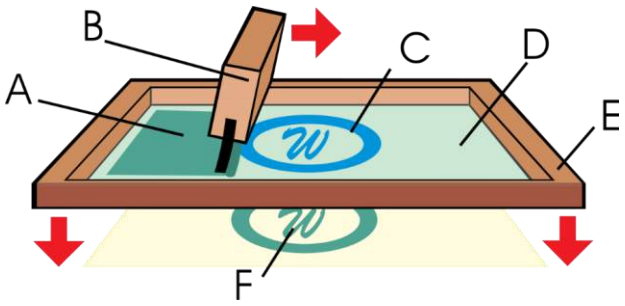


Рисунок 5.8– Принципова схема друку шовкографії

Сучасну шовкографію використовують під час виробництва упаковок, текстильної, автомобільної, електронної, керамічної, скляної та іншої продукції. Таким чином створюють емблеми, наклейки, написи і позначення на приладах і клавіатурі, фірмові пакети і навіть рекламу для вітрин. Однак, шовкографія не дуже ефективний і практичний метод

друку на папері. Але в будь-яких специфічних завданнях у неї до цих пір немає кращих аналогів.

У безконтактних способах друку зображення утворюється шляхом застосування певних барвників. Наприклад, в електрофотографії використовують сухі та рідкі тонери. У струминному друці – рідкі фарби низької в'язкості, а також термофарби. У термографії фарби закріплені на носії.

У безконтактних методах відсутня друкарська форма, яка застосовується у традиційних методах. Тому від відбитку до відбитку інформація може змінюватися. Це дозволяє виконувати персоналізовані видання (друк на вимогу замовника). Продуктивність безконтактних методів нижче, ніж продуктивність друку із постійною друкарською формою. Сфера застосування систем із безконтактною технологією "Комп'ютер – друк" – це малі тиражі, пробні відбитки тощо [153, 154].

Майже всі методи друку мають одну основну мету: перенести інформацію на матеріал (наприклад, папір – листовий або рулонний). Для виконання цього завдання необхідна додрукарська фаза цілеспрямованої підготовки до друку, так само як і післядрукарська фаза, що завершує виробництво друкарської продукції.

Слід зазначити, що у виконанні навіть невеликого тиражу (наприклад, в 100 одиниць продукції) якість відбитків, отриманих за безконтактним способом може бути нижчою, ніж за традиційним способом. Це пов'язано із нестійкістю електрофізичних процесів під час формування кожного відбитку. Тому в електрофотографії частіше виникають невідповідності одержуваного зображення та оригіналу, тобто ці технології доцільно застосовувати для виготовлення малих тиражів із середніми вимогами до якості. Для виготовлення великих тиражів із забезпеченням високої якості та низьких витрат, звичайно, необхідно застосовувати традиційні технології із виготовленням друкарської форми. Отже, дві принципово різні технології мають свої сфери застосування та доповнюють одна одну.

Розглянемо переваги і тенденції розвитку цифрового друку.

Друк змінних даних – це основна перевага цифрового друку, оскільки максимум, що можуть забезпечити традиційні технології друку, це – нумератори.

Оперативність – за малих тиражів цифровий друк також явно випереджає традиційні технології друку. До того ж, не витрачається час

на фотовиведення і підготовку друкарських форм, на приладку і сушіння. Цифровий друк значно випереджає офсетний друк під час здійснення переходу із тиражу на тираж [161].

Простота експлуатації – працювати із цифровим друком простіше, і людину за такою машиною вірніше назвати не друкарем, а оператором, оскільки практично всі основні налаштування автоматизовані. Однак, складність обладнання впливає на його надійність і термін служби, який у цифрових машин набагато нижче, ніж у механічного офсету.

Гарантований термін виконання замовлення – як правило, протягом робочого дня, а часто – і за кілька годин. Для офсету таке можна досягти лише як виняток: для особливого замовника, із фінансовими втратами, із принципу тощо. У постійну практику таке жоден розсудливий директор запроваджувати не стане, та це й неможливо.

Собівартість друку – під час цифрового друку собівартість відбитка практично залежить від тиражу. Великий тираж директору цифрової друкарні вигідніше віддати на офсет. Під час офсетного друку собівартість відбитка зменшується зі зростанням тиражу (рис. 5.9). Собівартість цифрового та офсетного друку на якісному обладнанні порівнянна під час виготовлення тиражу в одну тисячу екземплярів.

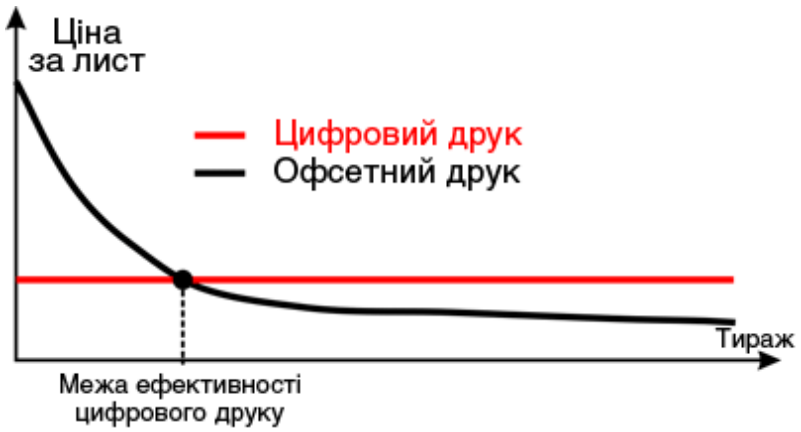


Рисунок 5.9 – Залежність собівартості друку від тиражу

Продуктивність – перевага офсетного методу в швидкості друку позначається тільки за великих тиражів. У разі малих тиражів переважає оперативність, яка властива цифрового друку.

Якість друку – у цьому відношенні офсет забезпечує кращу якість відбитків, але тиражі, надруковані на нових моделях цифрових дру-

карських машин і копірах, багатьом замовникам суб'єктивно здаються яскравішими.

Популярність технології – якщо від офсету замовник уже давно знає, чого очікувати, то можливості та особливості цифрового друку необхідно донести до потенційного клієнта.

Стабільність результатів та перспективи технології – коли всі параметри друкувальних процесів будуть враховуватися в комп'ютерних програмах обробки та виведенні даних, тобто коли можна буде в однакових умовах забезпечити відтворюваний результат. Це призведе до змін у професії друкаря, але розуміння принципів взаємодії друкарської форми, води, фарби та паперу не тільки не втратить своєї значущості, а й набуде іншої якості – "експертних" знань. Більш цінним стане досвід обробки електронних даних. Друк буде включати підготовку даних (сьогодні – це додрукарська обробка), управління потоками робіт, контроль мережевих ресурсів та частину післядрукарської обробки.

Переорієнтація сучасного поліграфічного виробництва із продукту на послугу найбільше проявляється саме в цифровому друці, який дозволив, насамперед, виключити із технологічного ланцюжка додрукарські процеси, що виявилися надмірними, і перейти від фотонабору до технологій цифрового друку. Поряд із комп'ютерним набором, виникла комп'ютерна графіка – і, нарешті, все ширше поширюється цифровий друк особливо для малотиражної багатобарвної та комерційної продукції, у які мають бути внесені зміни під час виготовлення тиражу.

Таким чином можна сформулювати основні особливості цифрового друку: виключено процеси виготовлення фотоформ і друкарських форм, друк тиражу відбувається безпосередньо із комп'ютера та здійснюється на кольорових принтерах, копіювальних апаратах і цифрових друкарських машинах. В основі такої машини лежить принцип, як і у лазерного принтера – створення прихованого електростатичного зображення із подальшим його перенесенням на матеріал, на якому здійснюється друк. У даному випадку немає постійної друкарської форми. Функцію змінної форми виконує фотонапівпровідниковий шар, на якому після кожного оберту барабана заново створюються пробільні та друкарські елементи (приховане електростатичне зображення). Оскільки необхідно передавати щоразу інформацію – це знижує продуктивність праці: швид-кість друку залежить від часу перенесення зображення на

"друкарську форму". Зображення може бути перенесене на матеріал, на якому здійснюється друк, або безпосередньо із "формного циліндра", або через проміжний носій – додатковий офсетний циліндр (позитивно заряджений нагрітий металевий барабан, покритий спеціальним електропровідним офсетним покриттям).

Особливості цифрових машин: економічно вигідний друк малих тиражів, персоналізація; можливість друку на різних матеріалах (сортах паперу, різних плівках); можливість переходу від друку однієї роботи до іншої без зупинки машини та практично без відходів; не потрібні додаткові пристрої для кольорової проби тощо. Її сильною стороною є оперативність, тому їй належить майбутнє.

Сьогодні можна констатувати, що цифровий друк затребуваний поліграфією, успішно освоює ринок оперативного друку. Тепер черга за закріпленням позицій, а в перспективі – поступовим просуванням на ринок середніх тиражів. Тому необхідні зниження цін на витратні матеріали, підвищення надійності та продуктивності обладнання, покращення якості друку. Виходячи із цього, важливо провести порівняння цифрового друку із традиційними методами друку: плоским (офсетним), високим, глибоким і трафаретним.

5.6. Сутність та перспективи розвитку традиційних методів друку

Традиційні технології друку визначаються як методи та процеси виготовлення друкованих матеріалів, які використовуються протягом тривалого часу і мають вже встановлену історію та популярність.

Плоский (офсетний) друк – найпоширеніший метод друку. Тут друкарські та пробільні елементи знаходяться в одній площині. Друкуючі елементи сприймають фарбу, а пробільні відштовхують її.

Під час офсетного друку фарба із друкарської форми переноситься спочатку на еластичний проміжний носій – гумотканеве полотно, потім – на матеріал, на якому здійснюється друк (рис. 5.10, рис. 5.11).

Таким чином, зображення на друкованій формі робиться не дзеркальним, а прямим. Використовують даний метод переважно в плоскому друці із використанням форм із алюмінію, цинку, сталі, міді або хрому.



Рисунок 5.10 – Плоский (офсетний) друк

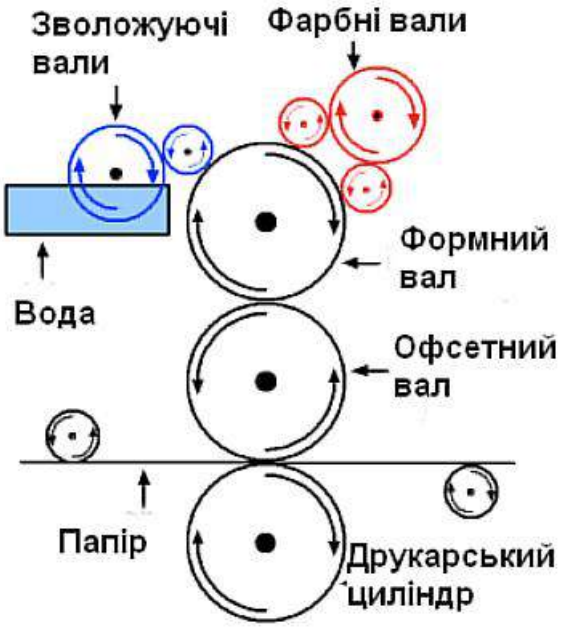


Рисунок 5.11 – Принципова схема офсетного друку

Застосовують два методи відштовхування фарби:

- традиційний офсет – форма зволожується розчином. Плівка зволожуючого розчину перешкоджає передачі фарби на пробільні ділянки форми;
- сухий офсет (без зволоження).

При цьому повинні бути два матеріалопотоки в одній традиційній друкарській машині: для подачі фарби та для подачі зволожуючого розчину.

Переваги офсетного друку:

1. Головна перевага – найвища якість друку і простота його отримання.

2. Різниця у вартості офсетних форм порівняно із фотополімерними формами флексографського та високого друку дуже велика (відношення 1:7).

3. Відпадає необхідність у дорогій клейкій стрічці, яка застосовується для монтажу фотополімерів на формних циліндрах.

4. Час виготовлення металевих офсетних форм (15 − 20 хв) значно менше поширених методів виготовлення фотополімерних форм.

5. Завдяки відсутності прямого контакту друкарської форми із матеріалом, офсетний друк дозволяє працювати за деякими матеріалами із грубою поверхнею. Фарба передається на матеріал із офсетного полотна, тому ризик засмічення форми при цьому не такий великий, як у різновидах високого друку.

6. Для офсетного друку характерний великий вибір різноманітних витратних матеріалів різних виробників. Такого немає жодний із видів друку.

7. У даний час підготовлено багато фахівців із офсетного друку.

8. Останніми роками виникла технологія "сухого" офсету, тобто без використання зволожуючого розчину. Для цього пробільні елементи формного матеріалу покрито спеціальним силіконовим шаром, який відштовхує фарбу. Тому відпадає необхідність використання зволоження, як і у традиційному офсеті. Головною перевагою "сухого" офсету є більш часті та контрастні растрові точки. Але є й значні недоліки у технології. Так, потрібні витратні матеріали, відмінні від звичайних фарб і пластин. Проте їхній випуск ще не налагоджений, все значно коштовніше. Тому собівартість продукції, виготовленої на основі технології "сухого" офсету, у 2 – 3 рази вище, ніж за технологією традиційного офсету.

9. Наявність тонкого силіконового шару на формі пред'являє підвищені вимоги до чистоти приміщень і неприпустимості застосування, наприклад, дизайнерських паперів (для виготовлення етикеток).

10. Фарби "сухого" офсету мають знижену в'язкість порівняно зі звичайними офсетними фарбами. Тому потрібно контролювати в'язкість у вузькому діапазоні за допомогою підтримки температури у цеху, оскільки відхилення температури на 2 – 3 градуси впливає на в'язкість фарби. Ряд машин "сухого" офсету оснащують системами водяного охолодження циліндрів барвистого апарату. Із цієї причини "сухий" офсет не отримав широкого застосування, хоча закладене в ньому технічне рішення є дуже цікавим. Він і близько не може зрівнятися із традиційним офсетом, який за популярністю у друкарні залишається "номером один" через низьку ціну, високу якість за чіткістю та перенесенням кольорів.

11. Перспективи розвитку офсетного друку:

- значна автоматизація процесу друку та зниження часу на обслуговування машин;
- створення машин зі змінним форматом друку (оскільки сталість друкованого формату − головний недолік офсетного друку);
- у найближчому майбутньому очікується повне усунення меж між звичайними і цифровими машинами;
- все ж таки на зміну офсету із зволоженням прийде "сухий" офсет;
- офсет ідеально гармоніюватиме із трафаретним та цифровим друками, а також із способами облагороджування друкованої продукції (тиснення, друк із металевими фарбами, створення голограм тощо).

Домінуюча роль офсетного друку призвела до бурхливого розвитку офсетних друкарських машин. Тому розглянемо їхню класифікацію:

- за форматом: малоформатні (до 500×700 мм); середнього формату (500×700 мм); повного формату (до 740×1050 мм); великоформатні (більше 740×1050 мм);
- за подачею аркуша в друкарський апарат (широкою або вузькою стороною), широкою стороною − більш високоякісні машини;
- за барвистістю (однобарвні, двобарвні та багатобарвні);
- за призначенням (друк на папері та картоні; на будь-якому картоні; на жерсті; друк цінних паперів). Машини для друку на папері та картоні – основні;
- за можливостями друку (односторонній і двосторонній багатобарвний друк);
- за вагою машини: важкого і легкого типу;

• за продуктивністю – із низькою швидкістю друку (до 7000 аркушів/год); високошвидкісні (від 15000 аркушів/год і більше) та із середньою швидкістю;

• за структурою друкарського апарату: секційної (трициліндрової) побудови; сателітної (двобарвної) і планетарної (п'яти-, семи- і дев'ятициліндрової барвної) побудови;

• за якістю друкування: оперативний однобарвний друк; якісний однобарвний друк і багатобарвний друк;

• за структурою побудови друкарської машини: лінійна, ярусна і комбінована побудова;

• за рівнем автоматизації: примітивні, посередні, традиційні, автоматизовані, високоавтоматизовані із цифровим програмним управлінням;

• за ресурсом та надійністю роботи: із обмеженими ресурсами, що не підлягають відновленню, високонадійні та підлягають відновленню;

• за можливістю агрегатування машини: робота в лінії із лаковою секцією або модулем, сушильним модулем, лінії із висічною секцією тощо.

Під час вибору машини слід знати правило: немає поганих машин, а є машини, що застосовуються не за призначенням.

Основний вузол машини – це друкарський апарат, який включає барвисті та зволожуючі системи, друкарський (для створення тиску), формний (друкарська форма) і офсетний (гумотканинна пластина) циліндри.

Рулонні друкарські машини порівнянно із листовими друкарськими машинами мають більш високу продуктивність, можливість друку на більш дешевому рулонному матеріалі та тоншому папері. Ці машини краще вбудовувати у загальну лінію підготовки друкованого видання. Однак існують їх недоліки – це обмежені можливості щодо зміни формату видання, вони мають меншу оперативність у роботі, неекономічні під час роботи із малими тиражами. Тому їхнє основне застосування – це великі тиражі газет, журналів, книг.

Поряд із плоским друком (офсетним друком, рис. 5.12), існують такі основні традиційні методи друку як високий друк (флексографський друк), глибокий друк і трафаретний друк (безконтактний друк) [155].



Рисунок 5.12 – Офсетний друк

Високий друк. У даному випадку всі друкуючі елементи розташовані вище, ніж пробільні. Під час високого друку фарба наноситься на поверхню виступаючих друкарських елементів. Під час зіткнення із папером фарба переходить на папір, для повного її переходу необхідний тиск. До винаходу друкарських машин для цієї мети використовували прес.

Для відтворення тексту і штрихових зображень, які складаються із окремих штрихів і ліній, виготовити друкарську форму навіть на дошці нескладно, оскільки всі друкарські елементи перебувають на одному рівні. На них легко нанести фарбу тампоном або валиком, покласти папір і пригорнути його для переходу фарби. Тому простота друкарського процесу, легкість виготовлення друкарської форми надовго зробили високий спосіб друку домінуючим. Чітке написання букв, рівні штрихи і контури відбитків високого друку дотепер важко досягти іншими способами друку. Однак у високому друці використовували довгий час важкі складальні металеві друкарські форми із сплаву, що містить шкідливий для здоров'я та екологічно небезпечний свинець. Це, разом із характерними недоліками високого друку, привело до значного зменшення частки високого друку, особливо після появи офсетних форм на алюмінієвій основі. Тому цей спосіб втратив домінуюче положення у випуску більшості видів видавничої продукції. Однак, і дотепер його використовують для друку однокольорових газет, книг, а також в упакуванні (наприклад, друк самоклеючихся етикеток і гнучкого упакування). Така значна питома вага високого друку обумовлена його універсальними репродукційними можливостями під час відтворення оригіналів всілякого характеру: текстових, ілюстраційних, змішаних, одно- і багатокольорових. Відбитки характеризуються високою чіткістю, різкістю, насиченістю тону і кольору. Позитивна особливість цього способу − стабільність якості зображення у всьому тиражі, що обумовлено відсутністю таких нестабільних процесів, наприклад, як зволоження друкарських форм (у плоскому офсетному друці).

Однак використання важких металевих форм, що містять шкідливий для здоров'я й екологічно небезпечний свинець, привело до пошуку нових способів друкування. Зараз за допомогою високого друку друкують лише продукцію, вимоги до якості якої невисокі: кишенькові телефонні довідники або окремі види щоденних газет.

Існують 3 друкарські системи високого друку: типографський друк, флексографський друк, типоофсетний друк або високий офсет.

Типографський друк – найстаріший спосіб (окремі рухливі літери для набору – швидке розмноження рукописів і книг). Застосовують три схеми друкарського контакту: площина – площина (друк на тигельних машинах); площина – циліндр (друк на плоскодрукарських машинах (швидкодрукарська машина)); циліндр – циліндр (друк на ротаційних машинах (ротаційний друк)).

Основні недоліки способу друку: висока трудомісткість виготовлення друкарських форм (ручний набір). Все це дозволяє розглядати цей спосіб друку як мало перспективний.

Для ротаційного друку застосовують напівкруглі відлиті металеві друкарські форми (стереотипи) або гнучкі пластини із синтетичних матеріалів (фотополімерні форми).

Для друку ілюстрацій і графіки застосовують різні пластини:

- виготовлені вручну друкарські форми (дерев'яні кліше) – це старий метод;
- металеві кліше, які отримані травленням за допомогою фотомеханіки та електронним гравіюванням;
- фотополімерні кліше, які отримано шляхом фотополімеризації та вимивання шару (отримали найбільше застосування).

Флексографський друк – це перспективний метод друку упаковок, етикеток, газет. Тут застосовують гнучкі (м'які) друкарські форми – змінюють процес подачі фарб. Завдяки використанню еластичних друкарських форм, виготовлених із фотополімерних матеріалів, а не жорстких друкарських форм, можна наносити флексографічне зображення на нерівні та негладкі поверхні, такі як тканина, картон і різні упакувальні матеріали. Гнучка друкарська форма, робить цей метод друку унікальним, поєднуючи в собі простоту і можливість високої тиражності. Одна форма розрахована на 1 – 5 млн. відбитків (рис. 5.13, рис. 5.14).

Останнім часом флексографський друк знаходить усе більш широке застосування. Висока швидкість друку на будь-яких рулонних матеріалах, у тому числі й на матеріалах, що не усмоктують друкарську фарбу, дешеві (на одиницю продукції) друкарські форми із фотополімерів (висока тиражестійкість) і можливість одночасно в одній машині друкувати, лакувати, проводити тиснення та висічку, роблять цей спо-

сіб друку дуже перспективним для етикеточної і упакувальної промисловості, а також для друкування газет.



Рисунок 5.13 – Флексографський друк

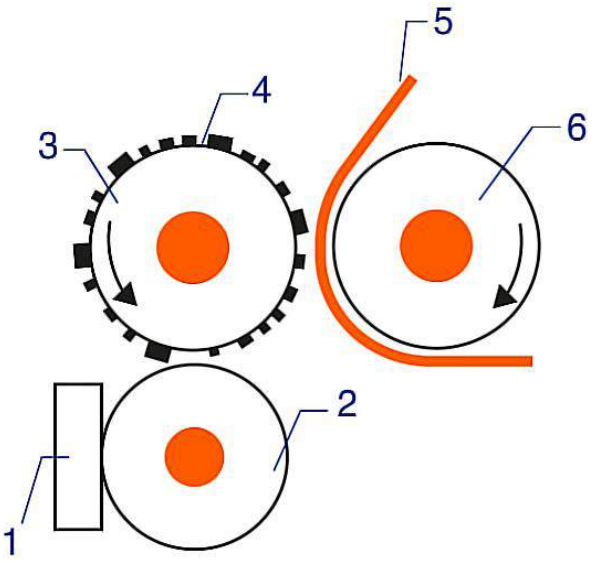


Рисунок 5.14 – Принципова схема флексографського друку: 1 – подача фарби; 2 – анілоксичний вал; 3 – формний вал; 4 – фотополімерна друкарська форма; 5 – задруковуваний матеріал; 6 – центральний друкарський циліндр

Особливістю даного способу є можливість установлення фрагментарних друкарських форм (друкарських форм, що складаються із окремих фрагментів) на формних циліндрах різного діаметра. Це дозволяє друкувати повторювальні сюжети на полотні рулону із дуже високою

швидкістю. Саме тому спосіб флексографського друку широко використовується для друкування шпалер, етикеток, упакувань, газет.

Типоофсет – тут зображення передається з форми на папір через проміжний носій – обтягнутий гумотканинним полотном циліндр, тобто це, за суттю, офсетний високий друк.

Глибокий друк. Тут застосовують друкарські форми із поглибленням друкарських елементів. Пробільні елементи на формі розташовані в одній площині. Спочатку наноситься фарба на всю форму, потім, за допомогою тканини або паперу для зняття фарби (ракель), видаляється фарба із пробільних елементів, вона залишається тільки в поглибленнях. Друкарська форма виготовляється безпосередньо на мідній поверхні формного циліндра. До основних переваг глибокого друку слід віднести простоту технологічного процесу та високу якість друкарської продукції. Значним недоліком є дорогий і трудомісткий процес підготовки формного циліндра. Спроби замінити монолітний формний циліндр ротаційних друкарських машин швидкоз'ємними гнучкими друкарськими формами не привели до позитивних результатів. Це пов'язано із тим, що гнучкі мідні форми, які застосовуються в листових машинах глибокого друку, не розраховані на великі виробничі швидкості. Крім того, внаслідок недостатньої герметичності стиків рідка фарба може затікати під друкарську форму, знижуючи чіткість відбитка.

До глибокого друку відноситься глибокий ракельний друк. У ньому на кожне кольорове зображення використовують комплектний формний циліндр (форма друку), тобто у чотири-барвній машині на кожне замовлення слід замінювати 4 циліндри, тобто слід зберігати багато циліндрів (а вони мають велику вагу).

Найбільш ефективний напівавтотипний друк (зі змінною глибиною та площею осередків). Він заснований на електронно-механічному гравіювання (різцем). Забезпечується висока якість друку. Глибокий друк зі змінною площею осередків (автотипний) не є перспективним.

Існують два способи побудови формного циліндра. Гальванічним способом збільшується шар міді, в якому гравірується зображення. Форми для глибокого друку зі змінною глибиною осередків отримують методом травлення.

Області застосування глибокого друку. Це якісний друк, який використовують для високотиражного друку: ілюстрованих газет, журна-

лів; друку на полімерних плівках та металевій фользі; друку цінних паперів, поштових марок, банкнот. На сучасному етапі розвитку поліграфічної промисловості глибокий друк займає 10 – 15 % ринку друкарської продукції.

Безсумнівною перевагою глибокого друку є дуже висока швидкість друку, що досягається завдяки використанню фарб на основі летучих розчинників, які забезпечують достатньо швидке їхнє закріплення. Через значну складність і тривалість виготовлення формних циліндрів, які застосовують у глибокому друці, використання цього способу вигідно лише під час друку великих тиражів − починаючи приблизно із 150 – 250 тисяч відбитків.

Трафаретний друк (шовкографія) дозволяє отримувати відбиток продавлюванням фарби через форму – трафарет, що є тонкою сіткою із натурального шовку або синтетичного матеріалу або металевих ниток із нанесеним зображенням. Через відкриті осередки, що несуть зображення, фарба наноситься на матеріал, на якому здійснюється друк.

У трафаретному друці застосовують різні схеми за принципом взаємодії контактованих поверхонь: "площина – площина", "площина – циліндр", "циліндр – циліндр" (ротаційний друкарський апарат). Можна наносити дуже товстий шар фарби – 20 ... 100 мкм і більше, а у офсеті – 0,5 ... 2 мкм. Висоту фарбового шару визначає товщина шаблону.

Основні переваги трафаретного друку:

1. Висока покриваюча здатність. Оскільки фарба потрапляє на матеріал не з валів, а з плоских форм, а сама сітка має певну товщину, то шар фарби на матеріалі виявляється надзвичайно товстим. Це дозволяє друкувати будь-які зображення, в тому числі на прозорих плівках без появи ефекту "прозорого малюнка".

2. Рельєф фарби. Багато робіт із застосуванням трафаретного друку відрізняються недосяжною для решти видів друку властивістю − високим фарбовим шаром, який можна відчути буквально на дотик. Шар фарби може досягати 0,5 мм.

3. Спеціальні види фарби. Для трафаретного друку розроблено величезну кількість спеціальних видів фарби: флуоресцентні, що світяться у певному спектрі, ароматизовані, термофарби.

Трафаретний спосіб друку використовуть, виходячи із описаних вище переваг, під час виготовлення етикеток для парфюмерно-косме-

тичної промисловості, лікеро-горілчаної промисловості, у випадках необхідності високої стійкості фарбового шару (етикетки на мастила автокосметику тощо), для нанесення елементів захисту та в інших випадках.

Найпоширеніші способи використання – це виготовлення візиток, друк на самоклеючих матеріалах, на тканинах із невеликою площею друку, зображень на футболках, на різній електро- та телеапаратурі, на упаковці, на рекламних плакатах. Домінуюче становище трафаретний друк посідає в радіо-електронній і приладобудівній промисловості.

Однак, якість трафаретного друку, яку можна отримати, використовуючи сучасні матеріали і технології, не досягається. Тому основним завданням трафаретного способу друку є поліпшенні якості друкарської продукції.

Підводячи підсумки, слід зауважити, що у поліграфічному виробництві застосовують рулонні друкарські машини високого, глибокого та офсетного друку. Машини високого друку використовують мало. Більше використовують машини глибокого друку для друкування журналів і рекламних видань великими тиражами. Найбільше застосування отримали офсетні друкарські машини, але у них є конкурент – машини для флексографського друку, які наприклад, на 20 % дешевші за рулонні офсетні друкарські машини. Однак, у них більш коштовні друкарські форми.

5.7. Тенденції розвитку поліграфічних технологій

Глибокий друк завдяки високій якості матиме постійний попит. Проте його частка відносно мала, оскільки виготовлення друкарських форм вимагає великих витрат, а виробництво прибуткове лише за великих тиражах. Офсетний друк займав і займатиме найбільшу частку ринку завдяки меншим витратам на виготовлення друкарської форми (порівняно із глибоким друком), більшим можливостям автоматизації техніки та високій якості друку.

Флексографський друк останнім часом, завдяки технічним нововведенням, забезпечує високу якість друку та набуває більш широкого застосування під час виготовлення упаковки. Те, що раніше виконувалося за допомогою офсетного друку, зараз частково виконується безконтактними методами, а також на основі флексографського друку

(особливо листового друку). Як зазначалося раніше, це малі тиражі, а також такі видання, як "друк на вимогу", "книга на вимогу" – спрямовані на підвищення якості та продуктивності друку. Але все одно офсетний друк буде залишатися домінуючим, особливо, завдяки широкому впровадженню цифрових робочих процесів і технології "комп'ютер – друкарська машина". Обсяги друкованої продукції із використанням офсетного друку постійно зростатимуть [42].

На рис. 5.15 показано частки використання різних способів друку (станом на 1999 рік на основі міжнародних оцінок та аналізу ринку друкованої продукції). Як витікає із рис. 5.15, найбільший обсяг складає офсетний друк.

У 2014 році він дорівнював 40 %, тоді як у 1990 році він становив приблизно 60 %. Як видно, завдяки появі нових способів друку NIP, офсетний друк дещо втратив свої позиції і до 2014 року скоротився до 40 %. Глибокий друк стабільно зберіг рівень використання – 15 %. Високий флексографський друк зменшився із 60 % у 1970 році до 25 % у 1990 році у результаті появи цифрових робочих процесів під час організації офсетного друку, а також застосування способів NIP ("комп'ютер – друк").

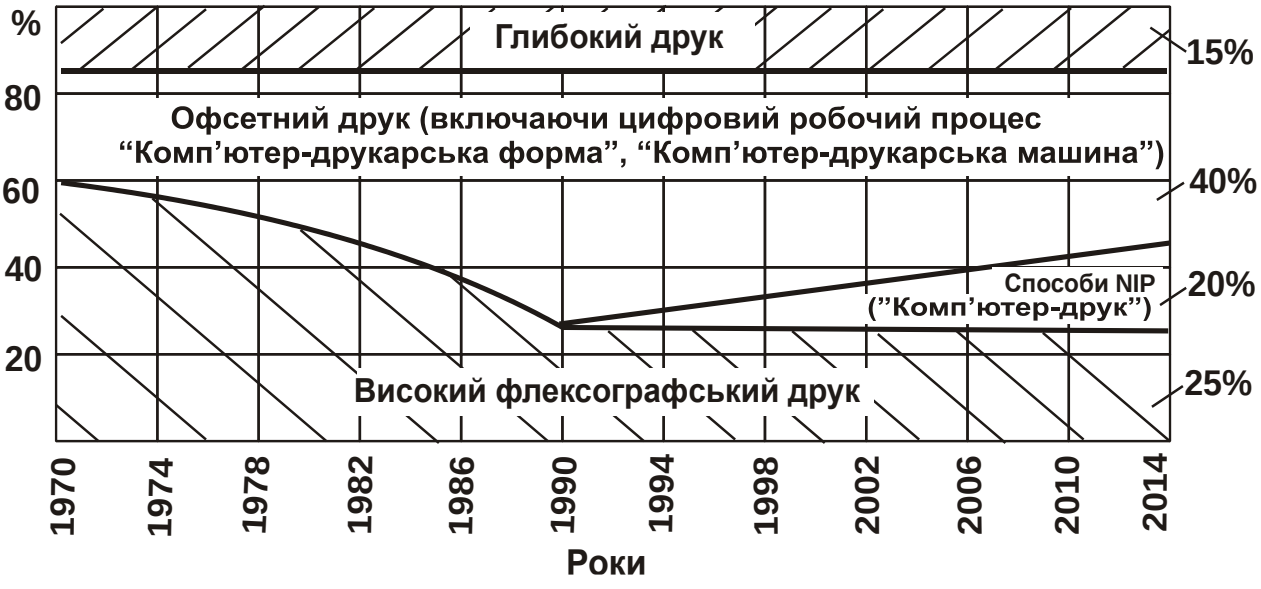


Рисунок 5.15 – Частки використання різних способів друку за роками

У табл. 5.1 для порівняння наведено загальні характеристики традиційних і цифрових технологій.

Таблиця 5.1 – Загальні характеристики традиційних і цифрових технологій

Характеристика	Традиційні технології	Цифрові технології
1. Зберігання і обробка даних	Зазвичай на папері або вручну	Електронні бази даних на комп'ютерах
2. Швидкість і продуктивність	Повільно	Швидка обробка та передача даних
3. Зручність і доступність	Менш зручне і недоступне	Більш зручне і доступне
4. Зберігання та екологія	Вимагає багато місця та ресурсів	Більш екологічне (менше витрат на папір)
5. Реалізація та розширення	Може вимагати багато фізичних змін	Легко реалізується і розширюється програмно

Аналіз наведених характеристик дозволяє встановити основні відмінності між традиційними і цифровими технологіями. Але слід зазначити, що певні характеристики можуть змінюватися залежно від конкретних сфер, технологічних рішень тощо.

5.8. Застосування сучасних технологій "Комп'ютер − ... " у виробництві друкарської продукції

Поява комп'ютерів призвела до революції у поліграфічному виробництві. Стало можливим перевести образотворчу і текстову інформацію у цифрову форму, а потім переробити її на додрукарській стадії, вивести та отримати якісну друковану продукцію. Існують три основні варіанти даної технології: "Комп'ютер – фотоформа", "Комп'ютер – друкарська форма", "Комп'ютер – друкарська машина" [42].

Технологія "Комп'ютер – фотоформа" забезпечує запис на фотоплівку, технологія "Комп'ютер – друкарська форма" – прямий запис зображення безпосередньо на офсетну машину, технологія "Комп'ютер – друкарська машина" призначена для прямого запису безпосередньо у друкарській машині. У варіанті технології "Комп'ютер – друк" друкарської форми немає. Завдяки технології "Комп'ютер – фотоформа" процес додрукарської підготовки став коротшим, тобто зникла необхідність у різанні, розміщенні та склеюванні окремих частин фотоформ, що мало

місце під час традиційного друку (монтаж фотоформи). Тому підвищилася точність позиціонування його елементів. Процес виготовлення фотоформ став швидшим і надійнішим. Використовують фотоплівки, що не потребують хімічного прояву та покращують екологічні умови праці.

Спуск смуг у системі "Комп'ютер – фотоформа" порівняно із ручним монтажем має наступні переваги:

- витрати часу на виготовлення повноформатного спуску тим значніше скорочуються, чим складніше монтаж;
- підвищується продуктивність додрукарських процесів: за той самий час можна виготовити значно більше число повноформатних спусків фотоформ. У середньому продуктивність збільшується у три рази;
- заощаджуються матеріали (монтажна основа, фотоплівка тощо);
- зникає необхідність у кресленні макетного аркуша;
- дані спуску смуг залишаються доступними і викликаються за необхідності, особливо під час повторних замовлень;
- обслуговуючий персонал здобуває досвід роботи із цифровими даними, методами цифрових технологій для наступного переходу до роботи в системах "Комп'ютер – друкарська форма". Система "Комп'ютер – фотоформа" підвищує гнучкість процесу. Аналогові фотоформи замовників можуть інтегруватися із фотоформами, виготовленими за допомогою цифрових технологій.

Технологія "Комп'ютер – друкарська форма" виключає необхідність застосування фототехнічних плівок, що знижує витрати та час друку, підвищує якість друку завдяки виключенню етапу виготовлення фотоформ та зменшення відхилень від заданих параметрів. Отримані за цією технологією формні пластини із зображенням проявляють традиційним способом і потім встановлюють у листові або рулонні друкарські машини. Зображення здійснюється лазерним променем. Під час використання нових формних матеріалів (термочутливих пластин) немає необхідності працювати в темних приміщеннях, захищених від світла.

Автоматизація й пов'язані з нею можливості скорочення тимчасових і матеріальних витрат становлять головні переваги технології "Комп'ютер – друкарська форма". Суттєвим чинником є і її вплив на роботу друкарського цеху, оскільки помітно скорочується період прилад-

ження машин. Найбільша економія часу досягається ще в додрукарських процесах цифровим спуском смуг.

Користувачі систем "Комп'ютер – друкарська форма" відзначають збільшення продуктивності майже в три рази порівняно із традиційною технологією. Продуктивність, тобто число друкарських форм, що виготовляються пристроєм в одиницю часу, залежить як від загальної тривалості окремих процесів, так і від можливості паралельного виконання операцій або з їхнім перекриттям, наприклад, прояви першої формної пластини в процесорі та одночасному записі наступної пластини в пристрої, що експонує. Час експонування або запису є основним чинником, що впливає на продуктивність. Мінімальний час запису формної пластини форматом 70×100 см не перевищує 2 хвилин.

Слід зазначити, що технологія "Комп'ютер – фотоформа", на відміну технологій "Комп'ютер – фотоформа" і "Комп'ютер – друкарська форма" (орієнтованих на традиційні друкарські машини), виключає виготовлення фотоформ або друкарських форм, направляючи цифрові дані у друкарську машину. Це знижує трудомісткість роботи, оскільки унеможливлює ручну установку форм і пов'язані із нею неточності установки. Друкарські форми виготовляють безпосередньо у друкарській машині, і вони аналогічні традиційним формам.

Технологія "Комп'ютер − друк" на основі безконтактного способу (NIP) дозволяє наносити барвистий шар на матеріал, на якому здійснюється друк, під управлінням цифрових даних, не використовуючи друкарську форму. Під час електрофотографічного способу промінь лазера формує сховане зображення, на зразок того, яке можна отримати на формному матеріалі. Потім зображення проявляється барвником (порошковим тонером) і далі виявлене зображення переноситься на папір.

Існує й інший метод технології "Комп'ютер – друк", коли запис здійснюється без проміжного носія, як наприклад, у струминних системах, де фарба через керовані сопла подається безпосередньо на матеріал, на якому здійснюється друк.

Розглянемо компоненти системи "Комп'ютер – друк" на основі безконтактних технологій:

- за допомогою сканера образотворчі оригінали перетворюють у цифровий вигляд і передають до друкарської системи. Залежно від ви-

мог до кінцевого продукту, система може доповнюватися різним обладнанням для обробних (післядрукарських) процесів;

- у звичайних копіювальних машинах на основі методу електрофотографії здійснюють пряме оптичне перенесення оригіналу на фотонапівпровідникову поверхню друкарської секції. Операція повторюється для кожної копії оригіналу.

Різниця між копіювальними і друкарськими пристроями щодо технології друку незначна. Копіювальними є пристрої, які можуть виготовляти кожну копію лише із матеріального оригіналу. Друкарські пристрої приймають дані замовлення у цифровому вигляді. Якщо до цифрової друкарської системи підключено сканер, який перетворює матеріальні оригінали на цифрову форму, то обов'язково забезпечується зберігання даних у пристрої, з якого дані передаються на друк. Така система є друкарською, а не копіювальною.

Переваги технології "Комп'ютер – друк":

- скорочується час технологічного циклу (виключаються операції обробки фотоматеріалу, копіювання фотоформ на формні пластини та у ряді випадків обробки експонованих формних пластин);
- знижуються витрати на виробничі площі, придбання додаткового устаткування та видаткових матеріалів через непотрібність окремих фотоскладальних автоматів, процесорів проявлення, копіювального устаткування тощо;
- поліпшуються екологічні умови на поліграфічному підприємстві;
- підвищується якість зображення на друкарських формах завдяки зниженню рівня випадкових і систематичних перешкод, що виникають під час експонування та обробки традиційних фотоматеріалів і копіювання монтажів на офсетні пластини;
- скорочується чисельність обслуговуючого персоналу.

Технологія "Комп'ютер – друк" дозволяє отримувати різні за змістом відбитки. При цьому відсутні які-небудь друкарські форми із постійним, фіксованим зображенням. Для кожного нового відбитку зображення перезаписується, навіть якщо виведена інформація залишається ідентичною. Однак, це сповільнює друк, служить причиною коливань якості відбитків у тиражі.

У системі "Комп'ютер – друкарська машина" виготовляється традиційна постійна форма, що значною мірою гарантує однакову якість

друку від відбитку до відбитку. Ці пристрої мають більш високу продуктивність, оскільки для кожного наступного виведеного аркуша немає необхідності здійснювати перезапис. Однак у цьому випадку неможливо вносити зміни у тиражні відбитки.

Системи друку на основі електрофотографії. Як приклад розглянемо пристрій багатобарвної друкарської системи, за допомогою якої рулонний матеріал, де здійснюється друк, порошковим тонером. Запис проводиться із застосуванням лінійки світлодіодів із роздільною здатністю 600 dpi. Тонер переноситься безпосередньо на паперове полотно. Управління світлодіодами в процесі експонування фоторецептора на поверхні циліндра дозволяє створювати на ділянках, що записуються, заряди різної величини, отже, і різну передачу тонера на елемент (близько 9 градацій). При цьому стає можливим відтворення більшого охоплення кольору, ніж під використання лише двох градацій на елемент.

Зображення, виявлене тонером, закріплюється термообробкою. Для підвищення якості відбитка після охолодження паперового полотна можна використовувати ще один пристрій, який подібно до системи, що закріплює, надає на поверхню відбитка термосиловий вплив. Після цього рулонний матеріал розрізається на листи. Перевагою системи є одночасний друк лицьового та зворотного боку полотна. Крім того, у напрямі його руху можна отримати широкий діапазон форматів.

Розглянемо принципи роботи ксероксу, копіювальної техніки, принтерів і різографа.

Ксерокс. Походить від назви фірми-розробника. Принцип роботи ксерокса ґрунтується на явищі, коли електропровідність певних матеріалів змінюється під впливом світла. Цей процес відбувається на фотобарабані, на якому відображається аркуш паперу. Фотобарабан потім здійснює друк переносом чорнила на папір. Спочатку з'явилися ксерокси із чорно-білим зображенням, потім кольорові ксерокси з кольоровими картриджами. Все це призвело до розквіту ринку витратних матеріалів: заправка картриджів + заправка ксероксу (майже те саме).

Класифікація копіювальної техніки:

- портативні копіри (папір формату А-4, друкується 5 − 6 копій на хвилину, 500 копій на місяць);
- низькошвидкісні ксерокси (папір формату А3 та А4 – друкується 10 − 15 копій на хвилину та, відповідно, 1500 − 2500 копій на місяць);

- офісні копіри середнього класу (папір формату А4 – друкується 10 − 30 копій на хвилину; папір формату А3 – друкується 10 – 20 копій на хвилину та, відповідно, 10000 копій на місяць);
- ксерокси для робочих груп (великі офіси, друкується 40 – 80 копій на хвилину для паперу формату А4 та, відповідно, 15000 копій на місяць);
- спеціальні ксерокси (входять повнокольорові широкоформатні копіювальні апарати − для креслень, кольорових фотографій, виведення на твердий носій зображення з комп'ютера і слайдів).

XEROX 5800 – один із найшвидших копіювальних апаратів у світі (друкується 120 копій на хвилину для паперу формату А4). XEROX Docu Color 5799 − вдале поєднання оптимальної якості зображення, високої продуктивності, надійності, сумісності та доступної ціни.

Основна перевага: фотографічна якість (кольорового) зображення.

Принципи роботи ксероксів і копіювальної техніки (на основі процесу сухого електростатичного копіювання):

- попередня зарядка негативним потенціалом фоточутливого барабану;
- проектування зображення на барабан таким чином, щоб промені, відбиті від світлих ділянок оригіналу, нейтралізували відповідні області фоторецептора, залишаючи негативно зарядженими лише ті частини барабана, на які надалі накладатиметься тонер для перенесення на папір;
- перенесення тонера із барабана на папір;
- відділення паперу від барабана;
- термічне закріплення копії.

Основою копіювального апарату є фотобарабан, що складається із світлочутливого шару, в якому під час попадання фотонів світла формується приховане електростатичне поле, яке є точною проекцією оригіналу, що спочатку відобразило це світло.

Принтери (струменеві, лазерні, матричні, фотопринтери, сублімаційні).

Лазерний принтер дозволяє отримати дуже чітке зображення. За надсиланням файлу на друк у пам'яті комп'ютера створюється образ. Цю інформацію за допомогою лазерного променю принтер проектує на барабан, що обертається, із світлочутливим покриттям, яке змінює

електричні властивості в залежності від освітленості. У процесі друкування на барабан автоматично наноситься тонер, частинки якого налипають на засвічені ділянки поверхні барабана. Потім папір протягається під барабаном, і тонер переноситься на папір, залишаючи на ньому чітке зображення. Є чорно-білі та кольорові лазерні принтери.

Струменеві принтери засновано на тому, що символи зображення утворюються у вигляді послідовності чорнильних точок. Чорнило "викидається" на сторінку через спеціальні отвори – сопла.

Фотопринтери (лазерні та струменеві) призначено для друку кольорових і чорно-білих фотографій на фотопапері.

Плоттер – це пристрій, що креслить графіки, малюнки під керуванням комп'ютера на папері великих форматів.

Матричні принтери. Зображення виходить від дії маленьких "голочок" по фарбуючій стрічці, яка залишає слід (відбиток) на папері. Якість друку нижче. Використовують для друку документів.

Сублімаційні принтери. Нагрівається спеціальна стрічка, внаслідок чого кольоровий барвник переноситься на носій (сублімація – перехід від твердого стану в газоподібний стан, минаючи рідкий стан). Чорнило миттєво випаровується і "пар" "друкує" зображення. Забезпечується висока якість зображення та стійкість до вицвітання (друк на футболках, прапорах, пластикових картках). Здебільшого робота виконується одним кольором.

Принтери для чеків і штрих-кодів. Схожі на сублімаційні принтери. Висока швидкість друку: 100 – 120 мм/с.

Різограф. Перший різограф з'явився у 1980 році. Різографія як метод друку поєднує досягнення сучасної цифрової електроніки – висока якість подання, обробки та передачі даних, із перевагами традиційного трафаретного друку – високою продуктивністю, економічністю і надійністю. Спочатку копіюваний оригінал розміщують на вбудованому сканері різографа (рис. 5.16). Інформація, що зчитується, перетворюється в цифрову форму і передається в пристрій керування термоголовки. Термоголовка пропалює дрібні отвори майстер-плівки у точній відповідності до оригіналу із вимогами щодо яскравості друку, масштабування тощо. Майстер-плівка автоматично закріплюється на поверхні циліндра, що барвить, її внутрішній шар просочується барвником (на основі гліцерину). Папір подається під циліндр, що обертається. У результаті фарба

наноситься на папір через отвори у майстер-плівці. Можна надрукувати 1000 аркушів за 8 хвилин. Однієї майстер-плівки вистачає на 15 тисяч відбитків (формат паперу А4). Ресурс роботи різографа – 8 млн відбитків. Найбільша ефективність використання різографа досягається під час виготовлення тиражів у 2 – 3 тисячі відбитків (рис. 5.16).



Рисунок 5.16 – Різограф

Розглянемо основні переваги та недоліки різографії.

1. Продуктивність. Різограф не вимагає часу на розігрів і готовий до роботи відразу після включення. Швидкість друку − від 60 до 130 копій за хвилину. За 8 годин роботи один різограф може виготовити більше 60 тисяч копій.

2. Економічність. Під час друку на різографі значну частину вартості тиражу становлять фіксовані витрати, які пов'язані із виготовленням матриці. Очевидно, що зі збільшенням тиражу вартість однієї копії буде зменшуватися (рис. 5.17).

3. Відмінна якість зображення. Різограф забезпечує кілька режимів копіювання: текстовий (16 півтонів для копіювання текстів, графіків тощо), фоторежим (256 півтонів для копіювання фотографій, малюнків), растровий режим.

4. Простота роботи на різографі. Працювати на різографі не складніше, ніж на копірі, що дозволяє легко та оперативно, не вдаю-

чись до допомоги професіонала-друкаря, надрукувати практично типографські тиражі листівок, буклетів, прайс-аркушів тощо.

5. Абсолютна екологічна чистота. Різографи абсолютно нешкідливі для здоров'я людини та навколишнього середовища. Вони не виділяють ніяких шкідливих речовин під час своєї роботи. Видаткові матеріали виготовлені із натуральних, екологічно чистих продуктів.

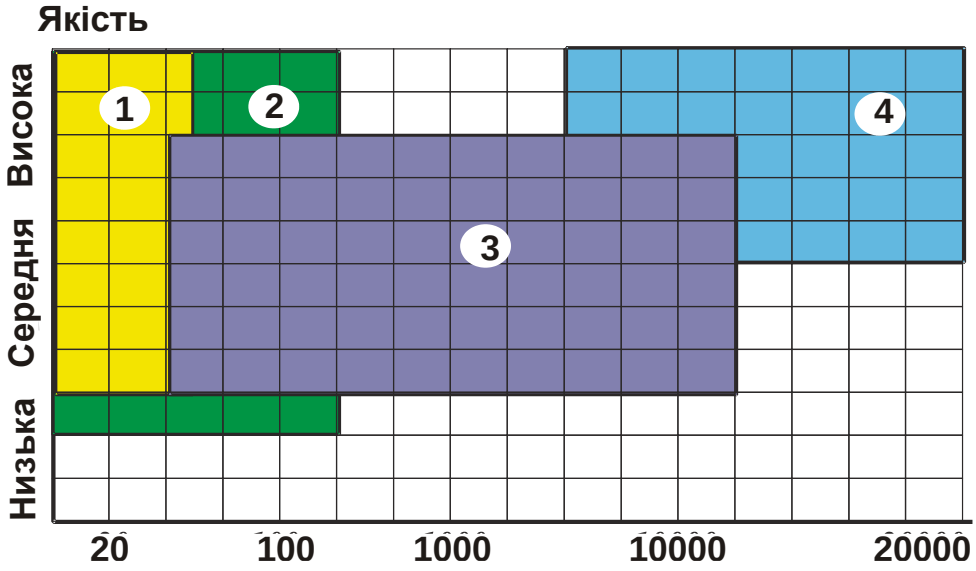


Рисунок 5.17 – Місце різографії серед методів друку:
1 – принтер; 2 – копіювальний апарат; 3 – різограф; 4 – офсетний друк

За дуже високої швидкості виготовлення видання на різографі відсутня величезна попередня підготовка, яка має місце, наприклад, в офсеті, що є значною перевагою різографії. Крім того, офсетна машина може коштувати від декількох десятків до сотень тисяч доларів. Далеко не кожний починаючий підприємець готовий до подібних витрат. А ціна на різограф коливається від 4,5 до 12 – 15 тисяч доларів. Одержувані відбитки теж дешевші.

До недоліків різографії відноситься неможливість друкувати на різографі півтонами. Даний апарат передбачає використання не тільки чорної, але й червоної, синьої, жовтої, зеленої фарби. З'явилися моделі, у яких є п'ять і навіть шість кольорів. Але, як відомо, кожний колір має масу відтінків. Однак різограф може друкувати лише тією фарбою, яка закладена в нього виробником, кожний колір – окремо. Головна умова – зони, що офарблюються різними відтінками, не повинні розташовуватися поруч, оскільки під час значної швидкості роботи зни-

жується якість виконання: відбувається зсув − чорний потрапить на червоний, червоний на зелений тощо.

Різограф здатний забезпечити достатньо високу якість під час друку тексту, але не забезпечує високої якості під час друку великих малюнків і фотографій. Тому оригінал-макети, що містять їх, рекомендується додруковувати цифровим методом і потім вставляти в тираж. Однак, останнім часом на поліграфічному ринку з'явилися нові покоління машин, які дозволяють тиражувати не тільки фотографії, але й взагалі будь-які повнокольорові зображення.

Запитання для самостійного контролю

1. Сутність мультимедійних технологій та значення фізики у їх розвитку.
2. Сутність голографії та її практичне застосування.
3. Яке значення має фізика у розвитку видавництва і поліграфії.
4. Назвіть основні тенденції розвитку друкарської продукції.
5. Назвіть три основні напрями розвитку поліграфії.
6. Назвіть області ефективного застосування цифрового друку.
7. Обґрунтуйте шляхи підвищення якості цифрового друку.
8. Надайте визначення офсетному друку та охарактеризуйте тенденції його розвитку. Сутність "сухого" офсетного друку.
9. Які є способи високого та глибокого друку та перспективні напрями їхнього застосування?
10. Чим відрізняється флексографський друк від інших методів друку?
11. Проаналізуйте сутність, способи реалізації та перспективи розвитку тампонного та струмінного друку .
12. Наведіть класифікацію технологій друку.
13. Назвіть відмінні риси цифрових друкарських машин.
14. Назвіть тенденції розвитку безконтактних способів друку NIP.
15. Проведіть оцінювання сучасного рівня електрофотографії, струминного друку, іонографії, магнітографії, термографії і фотографії.
16. У чому полягає сутність технологій "Комп'ютер − …"?
17. У чому полягає принцип роботи сканера, принтера, різографа?

Література: [3, 42, 52, 95, 117, 118, 123, 132, 153 –155, 158, 161].

Розділ 6. Інноваційні технології в медицині

6.1. Сучасна медицина

Поняття "медицина", першою чергою, визначає сферу людської діяльності, яка спрямована на досконале вивчення і розгляд процесів, які здійснюються в організмі кожної людини.

Мета і основна задача медицини – це регулярне проведення різних розробок, застережень, діагностики і подальшого лікування людини від будь-яких хвороб. Сучасна медицина здійснює постійні розробки інноваційних технологій, які надають унікальні можливості заздалегідь попередити виникнення хвороб.

Слід зазначити, що як в науковій, так і в практичній діяльності медицина завжди займала і займає перше місце, що дозволяє їй досягти приголомшливих вершин в цій сфері діяльності.

Очевидним фактом є те, що здоров'я – це цінність, якою не можна нехтувати, адже воно нам дається з народження.

Сучасна медицина має багатовікову історію, в якій було зроблено безліч великих відкриттів, були успішно досягнуті приголомшливі успіхи. Під її керівництвом було врятовано багато людей.

6.2. Біомедична інженерія

Біоінженерія (англ. Bioengineering) – один із напрямів науки і техніки, що вивчає і розвиває застосування інженерних принципів і концепцій у сфері медицини та біології для створення штучних органів, від компенсації недостатності фізіологічних функцій (біомедична інженерія) до створення генетично модифікованих організмів, в тому числі, культурних рослин і сільськогосподарських тварин (генетична інженерія), а так само молекулярного моделювання і синтезу хімічних сполук із попередньо створеними властивостями (білкова інженерія, інженерна ензимологія). Інженерія в області медицини поєднує проектування і навички вирішення проблем техніки, а так само медичних біологічних наук для просування охороно-здоровчого лікування, в тому числі діагностики, моніторингу і терапії на основі фундаментальних принципів молекулярної та клітинної біології.

Біомедична інженерія тільки недавно з'явилася в якості самостійної галузі дослідження порівняно із багатьма іншими інженерними областями. Це область спільної роботи технологів, біологів і лікарів, спрямованої на придбання фундаментальних знань щодо фізичних характеристик і функціонування біологічних матеріалів. Даний напрям науки і техніки покликаний скоротити розрив між інженерною наукою (технікою) і медициною із метою підвищення якості надання медичної допомоги, в тому числі діагностики, моніторингу і лікування захворювань. Крім того, в немедичних аспектах біомедична інженерія тісно переплітається із біотехнологією.

Отримані знання використовуються вченими для того, щоб створювати пристрої, здійснювати операції і розробляти нові методики, які сприяють поліпшенню здоров'я та якості життя людей. Найвидатніші біомедичні технічні розробки включають: розробку біологічно сумісних протезів, різні діагностичні та лікувальні медичні пристрої (клінічне обладнання, мікро-імплантати, апарати візуалізації, фармацевтичні препарати і терапевтичні біопрепарати тощо). У числі досягнень біомедичної інженерії – діалезні апарати, які призначено для заміщення хворих і погано працюючих нирок; протези опорно-рухового апарату (тазостегнові та колінні суглоби тощо); матеріали і технології для операцій на серці і кровоносних судинах; штучне серце.

Основні області досліджень біомедичної інженерії:

1. Комп'ютерне моделювання в біомеханіці. Роль комп'ютерного моделювання в біомедичній інженерії важко переоцінити. На основі кількісних даних досліджень програміст створює моделі біологічних процесів і структур. Відповідні програми можуть передбачити поведінку біологічної структури, системи або організму залежно від зовнішніх впливів, лікування, розвитку хвороби або старіння. Комп'ютерні моделі здатні приблизно описати механіку роботи різних частин тіла, наприклад, стегнової кістки в області тазостегнового суглоба. Можна використовувати моделювання і для аналізу можливих змін в конструкції протеза. Але найважливіше значення має те, що комп'ютерне моделювання дозволяє уникнути проведення експериментів на людях.

2. Біоматеріали і біомеханіка тканини. На відміну від фахівців із моделювання багато інженерів-біомедиків мають справу безпосередньо із біологічними тканинами – м'язами, зв'язками, сухожиллями і

навіть клітинними мембранами. Найчастіше їх робота пов'язана із вимірюванням фізичних параметрів (міцність, жорсткість, пружність тощо) або функціональних показників (електричної активності, кількості речовини, що виділяється, осмотичного тиску в клітинах тощо). Подібні вимірювання створюють основу для практично важливих розробок, наприклад, штучного серця.

3. Біомеханіка. Біомеханіка вивчає в основному механічні властивості опорно-рухового апарату. Фундаментальні дослідження в цій області послужили базою для розроблення штучних суглобів, які застосовують для заміни суглобів, необоротно пошкоджених в результаті важкого артриту або артрозу. Цей винахід, що вже облегчив самопочуття тисячам людей, слід вважати найбільш вражаючим досягненням біомедичної інженерії.

4. Імплантація та ендопротезування. Ще в 1937 році в якості матеріалів для імплантації застосовують нержавіючу сталь марки 316-L, хром-кобальт-молібденовий сплав і титан. Ці матеріали достатньо міцні, довговічні, стійкі до корозії і не викликають серйозних запальних реакцій в організмі. Із їх появою в практику травматології швидко увійшли різноманітні фіксатори (стержні, пластинки, гвинти, цвяхи тощо), які призначені для закріплення кісток в правильному положенні. Завдяки сучасним фіксуючим пристроям, літня людина із переломом шийки стегна часто знову починає ходити практично через тиждень після травми.

Незважаючи на величезний успіх термін служби цих протезів обмежувався приблизно 10 – 20 роками. Пошук більш надійних способів фіксації дав свої результати – з'явилися металеві протези як із пористою поверхнею, так і з покриттям із фосфату кальцію у формі гідроксиапатиту, який імітує поверхню кістки. Завдяки пористій структурі зовнішнього шару протеза, кістка вростає в поверхню протеза і стабілізує його до кінця життя пацієнта. Покриття металевого протеза гидроксиапатитом імітує нормальну кістку, що сприяє більш фізіологічному і довговічному з'єднанню протеза із кісткою.

5. Біоелектрична інженерія. Різні тканини, в тому числі кісткова тканина, генерують електричні імпульси. Подібний п'єзоелектричний ефект відіграє важливу роль у формуванні кісток дорослої людини. Крім того, він впливає на швидкість і міцність зрощення кісток.

Біоелектричні явища все частіше намагаються використовувати для більш ефективного лікування переломів. Наприклад, поблизу перелому, що не зростає, імплантують електроди і пропускають слабкий електричний струм, який проходить через тканину в місці імплантації. Такий підхід дозволяє домогтися правильного зрощування навіть в тих випадках, коли звичайні способи лікування не приносять успіху.

Штучна заміна органів є одним із напрямів, який може здійснити біоніка. Тобто це з'єднання біології та техніки. Біоніка може застосовуватися для вирішення деяких технічних проблем.

Медична візуалізація зображень є важливою частиною медичних пристроїв. Ця область дозволяє лікарям прямо або побічно подивитися на речі, які невидимі в звичайному стані: ультразвук, магнетизм, УФ і радіовипромінювання та інші засоби.

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є прикладом застосування діагностичної візуалізації в біомедичній інженерії.

Технологія застосування візуалізації часто є необхідною медичною діагностикою – це рентгеноскопія, магнітно-резонансна томографія, позитронно-емісійна томографія (ПЕТ), комп'ютерна томографія, оптична мікроскопія, електронна мікроскопія. Біомедична інженерія є фундаментом потрібних для заміни різних частин людського тіла.

Переваги інженерних технологій у медицині:

- інноваційність: нові рішення в розробленні медичних приладів та методів лікування відкривають неймовірний потенціал у медицині;
- швидкість: завдяки новим технологіям лікарі можуть здійснювати процедури швидше, заощаджуючи час пацієнтів та зменшуючи ризики ускладнень;
- точність: інженерні технології дозволяють здійснювати більш точні та ефективні процедури лікування і діагностики;
- підвищений комфорт: інженерні розробки дозволяють покращувати комфорт пацієнтів та спрощувати роботу медичних працівників.

Застосування біомедичної інженерії:

- протезування: біомедична інженерія дозволяє створювати штучні протези, які повністю або частково відтворюють функції органів (рис. 6.1,а);
- діагностика: завдяки біомедичній інженерії, медицина отримує нові методи діагностики, такі як магнітно-резонансні томографії та ультразвукові сканування (рис. 6.1,б);

• хірургічні операції: біомедична інженерія робить можливими нові, мінімально інвазивні та точні методи проведення операцій, використовуючи роботизовані системи (рис. 6.1,в).



а



б



в

Рисунок 6.1 – Застосування біомедичної інженерії

Моделювання і симуляція процесів у медицині:

• створення комп'ютерних моделей: моделі можуть допомогти вивчати реакцію організму на ліки, прогнозувати та уникнути ускладнень;

• симуляції хірургічних процедур: тренування на віртуальних моделях зменшує ризик помилок та вдосконалює навички хірургів;

• віртуальний пацієнт: допомагає лікарям проводити та відстежувати тривалий процес лікування пацієнтів.

Розроблення медичних приладів:

• електрокардіограф: прискорює діагностику серцевих захворювань та забезпечує постійний контроль над станом серця;

• інсулінові насоси**:** дають людям з діабетом змогу контролювати рівень цукру в крові та полегшують повсякденне життя;

• комп'ютеризовані протези: дозволяють людям, що втратили кінцівку, повернутися до активного способу життя.

Використання штучного інтелекту в медицині:

• діагностика за симптомами: штучний інтелект допомагає точно діагностувати захворювання, враховуючи симптоми та аналізи;

• оцінка ризику: алгоритми штучного інтелекту можуть передбачити ризик захворювання та розробити індивідуальний план профілактики;

• оптимізація лікування: штучний інтелект допомагає лікарям вибирати найбільш ефективні методи лікування для кожного пацієнта.

Інновації у хірургічних технологіях:

• роботизована хірургія: комп'ютерно-навігаційні системи дозволяють виконувати точні та мінімально інвазивні хірургічні операції;

• нейронавігація: нейровізіографія дозволяє визначити точне місце проведення нейрохірургічної операції у реальному часі;

• телероботика: лікарі можуть виконувати операції на великій відстані, дотримуючись принципів телемедицини.

6.3. Впровадження сучасних технологій в медицині

В останні десятиліття сучасні технології надзвичайно стрімко входять у різні сфери життя, і медицина не є винятком. Впровадження передових технологій в медичну практику стає ключовим чинником у покращенні діагностики, лікування і управління охороною здоров'я. Це сприяє не тільки підвищенню точності та ефективності медичних процедур, але і розширює можливості доступу до якісної медичної допомоги. Тому важливо розглянути деякі з головних напрямів впровадження

сучасних технологій в медицині, які змінюють парадигму лікування та взаємодії між пацієнтами і медичним персоналом [20, 136].

Телемедицина та дистанційна медична допомога:

- телемедицина є ключовою інновацією у медичній галузі. Ця технологія дозволяє пацієнтам отримувати консультації, діагностику та лікування віддалено, забезпечуючи доступ до медичної допомоги у віддалених регіонах;
- телемедицина включає в себе віртуальні консультації, дистанційний моніторинг та використання відеозв'язку, щоб забезпечити якісну медичну допомогу без прямого контакту (рис. 6.2). Ці технології набули особливого значення в умовах пандемії та обмежень на мобільність, забезпечуючи неперервність медичних послуг та зменшуючи ризик передачі інфекцій.



Рисунок 6.2 – Сучасні технології в медицині

Діагностичні технології

Використання високоточних медичних зображень відкривають нові можливості для лікарів у сфері діагностики і лікування. Такі технології як магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ) і позитронно-емісійна томографія (ПЕТ), забезпечують детальне візуалізоване подання внутрішніх органів і тканин, дозволяють лікарям аналізувати структури та виявляти патології.

Використання цих технологій допомагає у точній діагностиці, визначенні розмірів уражень, визначенні стадії захворювань та розробленні ефективних планів лікування. Наприклад, МРТ дозволяє отримати зображення м'яких тканин, тоді як КТ надає детальніше представ-

лення кісток та їх структур. ПЕТ-сканування використовують для визначення активності метаболізму в організмі та виявлення деяких захворювань на молекулярному рівні.

Хірургічні роботи та асистенти

Роботизовані системи дозволяють лікарям використовувати високоточні роботи для виконання складних операцій з великою точністю та меншою травматичністю. Ці технології забезпечують покращену візуалізацію та контроль над хірургічними інструментами.

Хірургічні роботи дозволяють здійснювати втручання через невеликі розрізи, що сприяє швидшому одужанню та зменшенню ризиків ускладнень для пацієнтів. Лікарі можуть використовувати консолі для керування роботами, виконуючи операції з великою дистанцією від пацієнта.

Асистенти-роботи, оснащені штучним інтелектом, можуть надавати лікарям розширену аналітичну інформацію під час операцій. Вони можуть аналізувати дані з медичних зображень, допомагати визначати оптимальні шляхи для втручань, та враховувати індивідуальні особливості пацієнта.

Електронні медичні записи:

- визначають новий стандарт в організації та зберіганні медичної інформації. Ці технології замінюють традиційні паперові записи і забезпечують лікарям, медичному персоналу і пацієнтам зручний та ефективний доступ до медичної інформації;
- дозволяють зберігати інформацію щодо медичних консультацій, діагностики, рецептів і інших медичних процедур в електронному форматі. Це сприяє поліпшенню координації медичної допомоги, оскільки різні лікарі та медичні фахівці можуть легко отримати доступ до актуальної інформації щодо пацієнта;
- дозволяють уникнути помилок у веденні медичних записів, забезпечуючи точність і узгодженість інформації. Також, вони дозволяють автоматизувати процеси аналізу медичних даних, що полегшує діагностику і розроблення індивідуалізованих планів лікування.

Біотехнології та генетика

Біотехнології та генетика відіграють важливу роль у вдосконаленні методів діагностики, лікування та профілактики захворювань. Застосування сучасних біотехнологій включає в себе широкий спектр напрямів – від генетичної інженерії до виробництва біологічних препаратів.

Генетика дозволяє вивчати генетичний код людини та генетичні ризики для розвитку захворювань, що стає основою для персоналізованого лікування. Біотехнології включають розроблення біологічних препаратів, вакцин, терапевтичних і генетичних технологій для поліпшення методів лікування.

Таким чином, впровадження сучасних технологій у медицину перетворює парадигму надання медичних послуг, роблячи їх більш доступними, ефективними та індивідуалізованими. Це відкриває нові можливості для розроблення інноваційних методів лікування, попередження захворювань та забезпечення пацієнтам високоякісної медичної допомоги.

6.4. Комп'ютерна томографія

Поява рентгену – це справжня революція в діагностиці: з'явилася можливість побачити зображення внутрішніх органів, оцінити їх стан. Однак цей метод має ряд недоліків: зокрема, двомірний рентген приводить до того, що зображення одних органів можуть "накладатися" на зображення інших, і в результаті тільки від досвіду й мистецтва лікаря, що розшифровує рентгенограму, залежна правильна постановка діагнозу. Крім того, через особливості обстеження, на рентгенограмі можна побачити ряд утворень, наприклад, грижі або запалення. Все це привело дослідників до розроблення нових видів діагностики, серед яких особливе місце займають комп'ютерна томографія (КТ) та магнітно-резонансна томографія (МРТ) [109].

Комп'ютерна томографія – це метод неруйнівного пошарового дослідження внутрішньої будови предмета, що був запропонований в 1972 році Годфрі Хаунсфілда і Алланом Кормаком, відзначеними за цю розробку Нобелівською премією. Метод заснований на вимірюванні та складній комп'ютерній обробці різниці ослаблення рентгенівського випромінювання різними за щільністю тканинами. В даний час рентгенівська комп'ютерна томографія є основним томографічним методом дослідження внутрішніх органів людини з використанням рентгенівського випромінювання. Іншими словами, комп'ютерна томографія (КТ) – це обстеження, яке виконується за допомогою рентгенівських променів. Але якщо при звичайному рентгені промені проходять крізь тіло і фоку-

суються на плівці або пластині, забезпечуючи двомірне зображення, то під час виконання КТ зображення є об'ємним. Справа в пристрої апарату для КТ: джерелом рентгенівських променів служить кільцеподібний контур, усередині якого розташована спеціальна кушетка (стіл) для пацієнта (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Комп'ютерний томограф фірми Siemens Medical Solutions

Таким чином виконується ціла серія рентгенівських знімків органів, отриманих з різних точок і під різним кутом. За допомогою комп'ютера все зображення обробляються, та в підсумку моделюється тривимірне зображення органу. При цьому лікар має можливість подивитися "зрізи" органу: залежно від налаштувань апарату, товщина зрізу може становити до 1 мм. Це збільшує точність діагностики.

Сучасний комп'ютерний томограф є складним програмно-технічним комплексом. Механічні вузли та деталі виконано з високою точністю. Для реєстрації того, хто пройшов скрізь рентгенівські випромінювання, використовуються надчутливі детектори. Конструкція і матеріали, що застосовуються під час їх виготовлення, постійно удосконалюються. У процесі виготовлення комп'ютерного томографа пред'являються найжорсткіші вимоги до рентгенівських випромінювачів. Невід'ємною частиною апарату є великий пакет програмного забезпечення, що дозволяє проводити весь спектр комп'ютерно-томографічних досліджень (КТ-досліджень) із оптимальними параметрами, проводити подальшу обробку та аналіз КТ-зображень. Як правило, стандартний

пакет програмного забезпечення може бути значно розширений за допомогою вузькоспеціалізованих програм, які враховують особливості сфери застосування кожного конкретного апарату.

Із математичної точки зору побудова зображення зводиться до вирішення системи лінійних рівнянь. Так, наприклад, для отримання томограми розміром 200×200 пікселів система містить 40000 рівнянь. Для вирішення подібних систем розроблено спеціалізовані методи, засновані на паралельних обчисленнях.

Магнітно-резонансну томографію (МРТ) засновано на тому ж принципі: отримання масиву даних і моделювання на його основі тривимірного зображення органу. Різниця з КТ полягає в природі хвиль: при МРТ вони електромагнітні. Під їх дією різні ділянки тканин надають різну "відповідь", яка фіксується на приймальному пристрої апарату, а потім, також як і при КТ, сигнали обробляються й перетворюються в зображення. Отже, в обох випадках отримується об'ємне зображення і можна побачити пошарові зрізи органу, а також повернути зображення в потрібній лікарю проекції, наблизити ділянку, що цікавить тощо.

Основні відмінності комп'ютерної томографії і магнітно-резонансної томографії пов'язані із тим, що в апаратах застосовують різні види випромінювання, а також із тим, які патології краще виявляються за допомогою кожного методу.

Комп'ютерну томографію найчастіше призначають у випадках:

• вивчення пошкодження кісток і зубів;

• вивчення ураження суглобів;

• діагностики при травмах: на КТ добре видно "свіжу" кровотечу;

• виявлення захворювань хребта, в тому числі гриж, остеопорозу, сколіозу тощо;

• вивчення пошкоджень головного мозку;

• обстеження органів грудної порожнини (виявлення туберкульозу, пневмонії та інших захворювань);

• обстеження щитовидної та паращитовидної залоз;

• обстеження порожнистих органів (шлунок, кишечник тощо);

• вивчення стану судин, діагностики аневризм, атеросклерозу тощо;

• обстеження органів сечостатевої системи.

На комп'ютерній томограмі видно пухлини, камені, кісти. Таким чином, комп'ютерна томографія є практично універсальним методом

діагностики, що дозволяє лікарю побачити максимально докладну картину стану організму. Для підвищення інформативності комп'ютерної томографії її виконують з використанням контрастної речовини (зокрема, при вивченні судин й порожнистих органів).

Магнітно-резонансну томографію, зазвичай, призначають для дослідження м'яких тканин, суглобів і судин:

• обстеження при підозрі на наявність пухлини в м'яких тканинах;

• обстеження внутрішньочерепних нервів, структур головного та спинного мозку;

• вивчення оболонок спинного та головного мозку;

• обстеження хворих з розсіяним склерозом та іншими неврологічними захворюваннями, а також хворих, що перенесли інсульт;

• дослідження зв'язок і м'язів;

• вивчення стану суглобових поверхонь.

Таким чином, комп'ютерна томографія та магнітно-резонансна томографія – це два види обстеження, які дають максимально повну картину стану органів і систем. Кожен метод має свої незаперечні переваги.

Магнітно-резонансна томографія – це безпека, інформативність в разі діагностики захворювань м'яких тканин, суглобів, нервової системи, судинного русла. Комп'ютерна томографія відображає точну й детальну картину травм, захворювань внутрішніх органів (легень, органів травної системи, сечостатевої системи тощо), кровотеч, але при цьому має не таку високу ступінь безпеки. Питання про призначення того чи іншого виду обстеження вирішує лікар залежно від результатів попередньої діагностики.

6.5. Ультразвукова діагностика

Ультразвукова діагностика (УЗД) – це метод діагностики, який дозволяє побачити, що відбувається з внутрішніми органами людини, він створений на основі п'єзоелектричного ефекту – здатності деяких речовин (кварц, барій) відображати й випускати ультразвукові хвилі під дією електричного струму. Із таких речовин виконано датчик апарату УЗД, або трансдьюсер. Використання УЗД дозволяє виявити захворювання на ранній стадії, дослідження безболісне й майже не має протипоказань.

Принцип роботи ультразвукового апарату (рис. 6.4) – акустичний опір. Тканини, з яких побудовані всі органи людського тіла, характеризуються різною щільністю. Через це вони відображають ультразвук із різною швидкістю: чим щільніше тканина, тим швидше йде відображення звуку. Рідини його не відображають, а поглинають.



Рисунок 6.4 – Ультразвуковий апарат

Відбиті хвилі за допомогою комп'ютера перетворюються в зображення. Кістки і хрящі на знімку представлено білим кольором. Тканини із помірною щільністю, тобто майже всі внутрішні органи, – світло-сірим або темно-сірим. Рідини й повітря пофарбовано чорним кольором. Таке зображення називається *сонограмою*. Існують і кольорові апарати, які надають зображення, забарвлене синім, зеленим і червоним кольором. Це дозволяє досліджувати кровотік в судинах і внутрішніх органах.

Історія створення ультразвукової діагностики починається із 1941 року. Тоді здійснили перше ультразвукове дослідження кісток черепа. У 1947 році з'явилося перше описання методики під назвою "гіперфонографія". Назва "сонографія" з'явилася тільки в 1963 році. Тоді створили апарат, який і до цього часу використовується в медицині. Суть методу з тих пір не змінилася – він так само ґрунтується на п'єзоелектричному ефекті. Але апарати постійно удосконалюються й розробляються все нові методики. Всі сучасні датчики є електронними. Вони складаються з безлічі мікрокристалів, розташованих під різними кутами. За типом сканування існує три види датчиків (рис. 6.5):



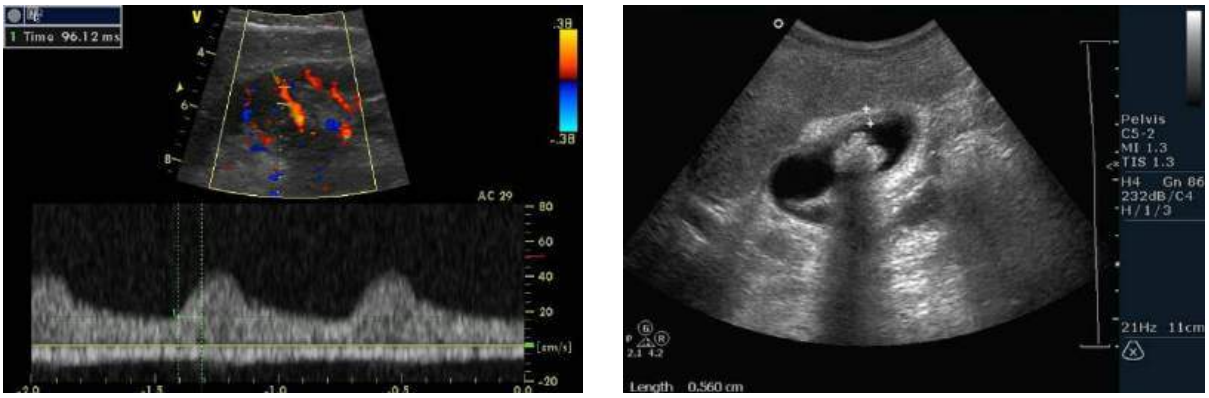
Рисунок 6.5 – Датчики: лінійний, конвексний і секторний

- лінійний: перевага такого датчика – досліджуваний орган відповідає положенню трансдьюсера на шкірі. Недолік – не на всіх ділянках тіла можливо щільно прикласти датчик до шкіри, через що страждає якість зображення. Глибина сканування невелика, до 11 см. Використовують лінійні датчики для дослідження щитовидної залози, молочних залоз, суглобів, судин;
- конвексний: відрізняється меншими розмірами, що забезпечує повне прилягання до шкіри. Зображення, що отримується, ширше самого датчика, що потрібно враховувати під час визначення розмірів. Глибина сканування до 25 см. Застосовується для ехоскопії органів черевної порожнини, малого таза, тазостегнових суглобів;
- секторний: застосовують для обстеження глибоко розташованих органів, наприклад, серця.

Існує кілька різновидів ультразвукової діагностики. Вони розрізняються досліджуваною областю тіла, а також за вживаним датчиком. Наприклад, дуплексна діагностика (рис. 6.6,а). Це тривимірна методика дослідження судин. Оцінює особливості кровотоку і стан судинної стінки. Досліджують судини голови, шиї, черевної порожнини, кінцівок.

Трансабдомінальний метод призначений для огляду органів через черевну стінку (рис. 6.6,б). Доступні печінка, жовчний міхур, підшлункова залоза, селезінка, нирки й сечовий міхур.

Для розшифровування результатів ультразвукової діагностики використовують поняття ехогенність. Це швидкість, із якою ультразвук відбивається від різних за щільністю структур тіла. Найбільшою ехогенністю, тобто швидкістю відображення, володіють кістки, жовчні й сечові камені. Середня ехогенність властива майже всім внутрішнім органам і м'яких тканин. Низька ехогенність, або поглинання ультразвуку, властива рідинам.



а б

Рисунок 6.6 – Ультразвукова діагностика: дуплексна діагностика (а), трансабдомінальний метод (б)

Знімок УЗД складається з різних відтінків білого, сірого й чорного: чим світліше колір, тим вище ехогенність досліджуваної структури. Білим кольором зображено кістки й камені, чорним кольором – рідини. УЗД-малюнок буває й кольоровим – коли досліджують кровотік або серце. Кольоровий малюнок забарвлений синім, жовтим і червоним кольором.

Під час проведення УЗД фахівець оцінює основні параметри досліджуваних органів і порівнює їх з нормою. Показники норми визначено для чоловіків, жінок і дітей, вони також розрізняються залежно від віку.

Щоб підраховувати розміри органів, товщину стінок, обсяг новоутворень, в програму апарату включено різні калькулятори.

Для різних захворювань змінюється забарвлення ультразвукового зображення, з'являються патологічні включення.

Ультразвукова діагностика відноситься до найбільш точних, але похибки дослідження все ж існують. Є дві основні причини виникнення похибок: несправна або застаріла апаратура та людський чинник – неуважність або недостатня кваліфікація фахівця. Також похибки можуть виникати при неправильній підготовці пацієнта до обстеження.

УЗД – найпоширеніший метод діагностики.

Переваги УЗД: простота виконання; невисока вартість; відсутність опромінення організму; висока точність.

До недоліків можна віднести необхідність використання спеціальної апаратури, потребу в кваліфікованих фахівцях. УЗД може не виявити дрібні зміни, розташовані в глибині органів.

УЗД відрізняється найкращим співвідношенням ціни та якості дослідження. Діагностика використовується для скринінгового виявлення захворювань, контролю хронічних захворювань, в якості супроводу інших діагностичних та хірургічних маніпуляцій. Процедура безпечна, має мінімум протипоказань. Для постановки остаточного діагнозу слід враховувати результати інших обстежень.

6.6. Лазерні системи в медицині

Розвиток лазерної техніки дозволив сформувати великий науково-технічний напрямок взаємодії когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання з біологічними системами лазерної медицини. Дослідження випромінювання лазера проводилися за такими напрямками, як виявлення процесів, що відбуваються в біологічній системі, та дослідження останньої під впливом випромінювання лазера; використання лазерів у медицині для діагностики та терапевтики; встановлення ступеня безпечності впливу його випромінювання на здоров'я людини [136].

Сьогодні лазери успішно застосовуються в таких сферах, як хірургія, онкологія, офтальмологія, терапія, стоматологія, урологія, гінекологія, щелепно-лицева хірургія, нейрохірургія, ендоскопія, фізіотерапія (рис. 6.7). Відкриття лазерного фотогідравлічного ефекту дало широкий спектр можливостей для пластичної хірургії. В онкології для лікування ран, виразок, шкіряних захворювань застосовують низькоінтенсивне лазерне випромінювання [20, 31, 112].

В офтальмології за допомогою лазерів проводять лікування таких хвороб, як відшарування сітчатки, глаукома тощо. За великих тривалостей (секунди, мілісекунди) і малих рівнях потужності в імпульсі випромінювання проводить коагулюючу дію. Разом із тепловою коагулюючою дією в офтальмології використовують руйнуючий ефект лазерного випромінювання, що має місце під час фокусування надкоротких і надпотужних імпульсів, які проявляються в ефекті мікровибуху. Такий режим використовується в офтальмологічній установці "Ятаган-1" для пробивання каналів у тканинах ока під час лікування глаукоми.

У 1984 році завершилось розроблення офтальмологічної лазерної установки "Якорь-1" на базі неперервного ІАГ: Nd3+ лазера із пере-

творенням випромінювання в другу гармоніку із 0,532 мкм та імпульсивного лазера на неодимовому склі із модуляцією добротності 1,06 мкм. Чисто зелене випромінювання мінімально пошкоджує нервову тканину. Крім того, в зоні лазерної обробки зеленим світлом відбувається більш ефективне проростання кровоносних судин, що дозволяє здійснювати більш ранню та більш ефективну обробку очного дна.

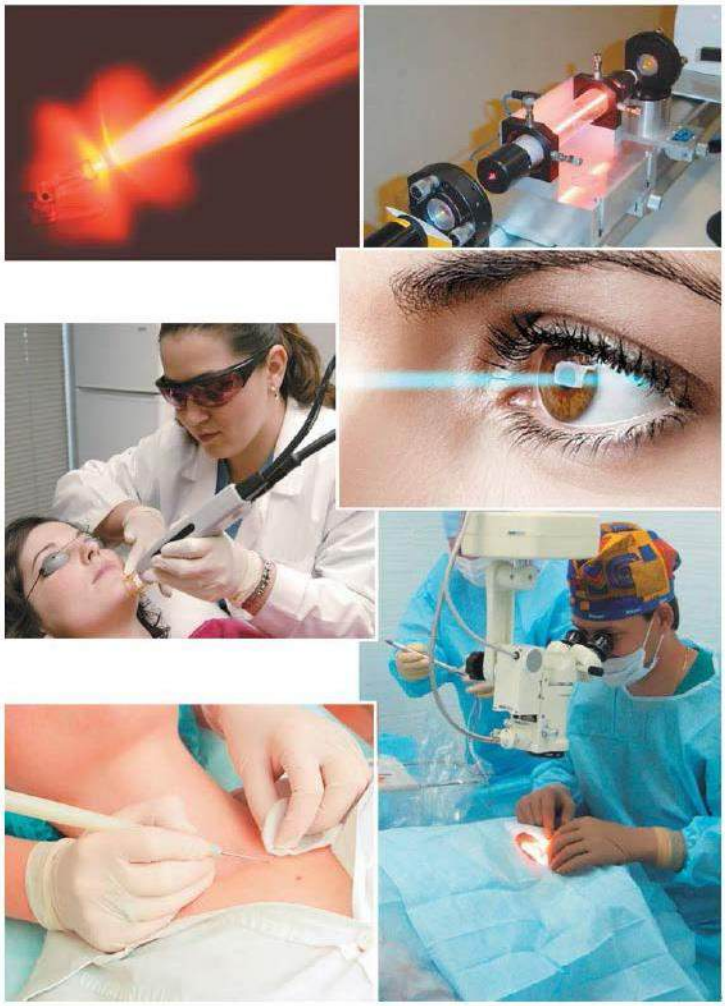


Рисунок 6.7 – Застосування лазерів у медицині

Використання випромінювання лазера в клінічній офтальмології має ряд переваг, зокрема, точна локалізація місця коагуляції та мале нагрівання тканин, що містяться навколо області коагуляції, здійснюються внаслідок короткого часу експозиції. Монохроматичність світла зменшує ефект хроматичної аберації в оці і дозволяє проводити спостереження. Поряд із цим виникають проблеми, пов'язані із роботою лазера – нагрівання та зміна положення робочої речовини, порушення

в дзеркалах, лампі, оптичному резонаторі; обмеженість контролю за процесом опромінення, виникнення труднощів при фотокоагуляції на периферії, та під час створення щонайменших розмірів діаметра лазерного променя (внаслідок дифракції від країв зіниці).

У такій галузі, як кардіологія, у США та Росії групою медиків і фізиків ФІАН проведено перші спроби щодо забезпечення позасудинного живлення кров'ю серцевого м'яза. Під час захворювання (закупорці) судинної системи, що живить серцевий м'яз, виявилося можливим здійснити додаткове постачання кров'ю серцевого м'яза через багаточисельні отвори, зроблені в м'язі за допомогою CO2-лазера, що працює в імпульсному режимі. Лазер безперервної дії на ІАГ: Nd3+ успішно був застосований тією ж групою медиків і фізиків, а також із участю медиків в Каунасі для лікування такого захворювання, як аритмія серця. В ході пошуку шляхів лікування цієї хвороби медики навчилися виявляти топологію паразитних каналів, за яких надходять додаткові хибні сигнали до серцевого м'яза, які викликають аритмію в роботі серця. Були випробовані різноманітні методи розтину цих хибних каналів, однак кардинального вирішення проблеми не було знайдено. Переміщення нервових каналів за допомогою ІАГ: Nd3+ лазера виявилося досить ефективним, тому дослідження в цьому напрямі заслуговують уваги.

Клінічна практика показала, що лазерна терапія широкого кола захворювань за ефективністю часто набагато краща, ніж інші способи лікування. Низькоінтенсивне лазерне випромінювання з успіхом використовується в різних галузях медицини. Не викликає сумніву стимулююча, протизапальна й обезболююча дія випромінювання гелій-неонового лазера, його нормалізуючий вплив на обмін речовин і стан імунної системи.

Проте механізм взаємодії лазерного та світлового некогерентного випромінювання взагалі на клітинно-молекулярному рівні залишається не виясненим. Незважаючи на досягнуті результати, лазерна медицина робить лише перші кроки. Для практичної реалізації досягнень квантової електроніки в інтересах медицини необхідно суттєво розширити та підняти на новий рівень весь комплекс досліджень взаємодії лазерного випромінювання із біологічною системою – живою тканиною.

6.7. Перспективи розвитку біомедичної інженерії

Охорона здоров'я покликана забезпечити гарантії прав особистості та суспільства на збереження, охорону і відновлення здоров'я, що є не тільки умовою існування окремої особистості, а й метою суспільного розвитку. Система охорони здоров'я, що охоплює всі відомчі та галузеві рівні економіки держави, є не тільки сукупністю лікувально-профілактичних установ, а й тісно пов'язана із екологією, охороною праці, соціальними програмами тощо. У зв'язку із цим багато вчених і практиків однієї із найважливіших функцій охорони здоров'я називають підтримку та відновлення рівноваги та гармонії індивідуального і (або) громадського здоров'я із навколишнім природним і соціальним середовищем (рис. 6.8).



Рисунок 6.8 – Сучасна медична техніка

Таким чином, суспільством охорона здоров'я сприймається як невід'ємна складова рівня та якості життя – зокрема, грає найважливішу роль в економічному розвитку держави, що забезпечує відтворення й якість трудових ресурсів, що створює базу для соціально-економічного зростання. Система охорони здоров'я держави є одним з елементів, що забезпечують національну безпеку країни. Система охорони здоров'я в Україні в даний час поділяється на 4 *рівні медичної допомоги*:

- первинну (інститут сімейної медицини, сімейний лікар);
- вторинну (спеціалізовану);
- третинну (високоспеціалізовану);
- екстрену.

Електронна система охорони здоров'я відіграє важливу роль для держави, самої системи охорони здоров'я і, зокрема, медичного страхування, та забезпечує:

- сприяння досягненню цілей охорони здоров'я;
- поліпшення результатів медичного обслуговування завдяки інформаційно-комунікаційної підтримки;
- можливість повторного використання даних відносно пацієнта;
- зниження адміністративного навантаження на лікаря;
- зниження вартості медичного обслуговування;
- впровадження сучасних медичних технологій.

Сучасна медична техніка значно розширила свої технологічні можливості завдяки останніх наукових досягнень [69]:

1. Температуру тіла зараз можна встановити не тільки градусником, а й із застосуванням спеціальних рідкокристалічних плівок, що накладаються на потрібні ділянки тіла й фарбовані в різні кольори (термограми). Їх можна також отримати приймачами інфрачервоних випромінювань і за допомогою термовізора.

2. Спеціальні рентгенологічні дослідження (томографія) – дозволяють виготовляти знімки шару, що лежить на певній глибині досліджуваних органів: легенів, нирок тощо. Ще для цього застосовують комп'ютерну техніку для *креслення рентгенівських томограм*.

3. Застосування ультразвуку засновано на властивості ультразвукових хвиль, які відбиваються від меж, що розділяють середовища.

4. Деякі захворювання внутрішніх органів (стравоходу, шлунку тощо) вдається виявити оптичним приладом – *ендоскопом*. Тонкий гнучкий пучок скляних волокон із спеціального оптичного скла вводиться всередину органу. Такий світловод висвітлює досліджувану ділянку й передає його зображення в фотокамеру або на телеекран.

5. Використовуються *радіопілюлі*, всередині яких знаходяться датчики й мікроскопічний радіопередавач. Протягом якогось часу можна контролювати роботу внутрішніх органів людини.

6. Біосенсор (детектор і комп'ютер) протягом декількох секунд може провести аналіз компонентів крові.

7. Під час операції світловий промінь лазера зупиняє кровотечу, усуває дефекти шкіри, проводить розсічення тканини швидше звичайного скальпеля.

8. Неоціненну допомогу під час складних операцій надають апарати: штучне серце, штучна нирка, штучні легені. Вони дозволяють тимчасово припиняти роботу цих органів.

9. Сучасна медична техніка дозволяє навіть замінити частково або повністю хворі органи людини. Це – електронний водій серцевого ритму, підсилювач звуку для глухих, кришталик зі спеціальної пластмаси.

10. Все частіше застосовують біопротези, що приводяться в дію мініатюрними блоками, які реагують на біоструми в організмі людини.

11. Під час операції (на сітківці ока) використовують не тільки мікроскопи, але й мікроманіпулятори, що у багато разів підвищують дію хірурга.

12. Застосовується апарат для зшивання судин.

13. Знаходять застосування барокамери, призначені для створення підвищеного або зниженого тиску або штучної атмосфери.

14. Застосовують електронні мікроскопи, що сканують, дозволяють побачити окремі віруси тощо.

На сьогоднішній день існує ще безліч технологій, які змінюють сферу медицини та охорони здоров'я. Ось кілька з них:

1. Google Cardboard (укр. "Картон") – експеримент компанії Google в області *віртуальної реальності*, в основі якого лежить шолом, який, за задумом розробників, можна зібрати із підручних матеріалів. Проект є симуляцієї віртуальної реальності за допомогою шолома, зібраного за спеціальною схемою із картону, оптичних лінз, магніту та застібок-липучок, а також вставленого в нього смартфона на операційній системі Android, iOS, або Windows Phone заздалегідь встановленим додатком. Поява Google Cardboard ознаменувала прорив в області VR-технологій. Немає сумнівів, що незабаром віртуальна реальність захопить усі сфери, у тому числі й медицину. За допомогою VR-технологій студенти-медики побачать, що відбувається із їх пацієнтами, а пацієнти, в свою чергу, наочно представлять, що їх очікує в рамках тієї або іншої медичної процедури. Незнання та нерозуміння викликає великий стрес, а надреалістична ілюстрація за допомогою VR допоможе пацієнтові цього стресу уникнути.

2. *Доповнена реальність*. Голова фармацевтичної компанії Novartis анонсував швидку появу цифрових контактних лінз. Так само як стало можливим виміряти рівень глюкози в крові за допомогою сліз,

технологія цифрових контактних лінз повинна вплинути на контроль за діабетом і його лікування. Крім того, окуляри змішаної реальності Microsoft HoloLens будуть відігравати значну роль в освітньому процесі: як в сфері медицини, так і в архітектурі та інженерній справі. Наприклад, з їх допомогою студенти-медики зможуть витрачати на віртуальний розтин необмежену кількість часу в день, причому розтин можна буде проводити під будь-яким кутом і без будь-якого натяку на запах формальдегіду**.**

3. Майже *штучний інтелект в області радіології*. IBM Watson – суперкомп'ютер фірми IBM, оснащений системою запитань-відповідей штучного інтелекту. Його основне завдання – розуміти питання, сформульовані на рідній мові, та знаходити на них відповіді в базі даних. Watson складається з 90 серверів IBM p750, кожен з яких оснащений чотирма восьмиядерними процесорами архітектури POWER7. Сумарний обсяг оперативної пам'яті – більше 15 терабайт. Система мала доступ до 200 млн. сторінок структурованої й неструктурованої інформації об'ємом в 4 терабайта, включаючи повний текст Вікіпедії. Дана система продемонструвала свої переваги: встановлення діагнозу й вибір лікування за допомогою суперкомп'ютера виявилися дешевше та ефективніше. Амбіційний проект IBM Medical Sieve спрямований на те, щоб діагностувати як більше захворювань завдяки розумному програмному забезпеченню. Це надасть можливість лікарям-радіологам сконцентруватися на найбільш важливих і складних випадках, замість того щоб перевіряти сотні знімків щодня. Medical Sieve, за словами компанії IBM, – це нове покоління в області медичних технологій. Апарат використовує розширену мультимодульну аналітику й клінічні знання, здатний аналізувати й пропонувати рішення в області кардіології та радіології. Серед переваг Medical Sieve – глибоке розуміння захворювань, їх інтерпретація в декількох форматах (рентгенівський, УЗД, КТ, МРТ, ПЕТ, клінічні тести).

4. *Сканер їжі*. Молекулярні сканери, такі як Scio й Tellspec (Канада), дозволять знати напевно, чим людина харчується. Це прекрасна можливість не тільки для тих, хто стежить за фігурою, але й для людей із алергією на харчові продукти. Робота системи полягає у випромінюванні світлових хвиль, прийомі відбитого випромінювання та проведенні спектроскопічного аналізу за допомогою відповідного програмного

забезпечення. Обробка даних проводиться в "хмарі", звідки оброблені дані надходять вже на смартфон користувача, із висновком візуальної інформації: компоненти страви та її калорійність. В ідеалі компанія бачить свій проект як невеликий пристрій, який розміщується на звичайному брелоку, сумісному із мобільними пристроями на основі Android і iOS.

5. *3D-біопрінтінг* – технологія створення об'ємних моделей на клітинній основі з використанням 3D-друку, за якою зберігаються функції та життєздатність клітин. Перший патент, що відноситься до цієї технології, був поданий у США в 2003 році й отриманий у 2006 році. Технологія 3D-біопрінтінга для виготовлення біологічних конструкцій, як правило, включає розміщення клітин на біосумісної основі, з використанням пошарового методу генерації тривимірних структур біологічних тканин. Оскільки тканини в організмі складаються із різних типів клітин, то технології їх виготовлення шляхом 3D-біопрінтінга також значно розрізняються за їх здатністю забезпечити стабільність та життєздатність клітин. Деякі з методів, які використовують в 3D-біопрінтінге – фотолітографія (метод отримання певного малюнка на поверхні матеріалу), широко використовують в мікроелектроніці та інших видах мікротехнологій, а також у виробництві друкованих плат. Він є одним із основних прийомів планарної технології, яка використовується у виробництві напівпровідникових приладів), магнітний біопрінтінг, стереолітографія, та пряма екструзія клітин (технологія отримання виробів шляхом продавлювання в'язкого розплаву матеріалу або густої пасти через формуючий отвір). Клітинний матеріал, виготовлений на біопрінтінг, переноситься в інкубатор, де він проходить подальше вирощування.

Розроблення технології 3D-біопрінтінга грає велику роль у вирощуванні органів і розробленні інноваційних матеріалів, перш за все, біоматеріалів – матеріалів, підготовлених та використовуваних для друку тривимірних об'єктів. Тканини, ліки (в перспективі – цілі органи), що виготовляються шляхом 3D-біопрінтінга, в майбутньому зможуть виступати в якості замінників "природних" людських органів, в деяких випадках із властивостями, що перевершують природні органи. Таким чином, на даний момент технології в галузі охорони здоров'я розвиваються стрімко й в подальшому можуть вплинути на стан людей в кращу сторону, незважаючи на ситуацію, коли погіршується навколишнє середовище проживання.

6. Інженери GlobalLogic в Харкові вже багато років займаються високотехнологічними розробками у сфері охорони здоров'я. Наприклад, розроблено систему автоматичного введення ліків в організм людини. Подібні розробки здатні відстежувати клінічно важливі показники організму за допомогою датчиків, відповідним чином коригувати свою роботу, попереджати лікаря і пацієнта щодо критичних станів.

Такі рішення широко використовуються в самих різних сферах медицини та допомагають полегшити життя пацієнтам із найрізноманітнішими захворюваннями.

Створювати подібні пристрої – велика відповідальність для IT-компаній. Чим значніше їх вплив на організм людини, тим більш жорсткі вимоги пред'являються до їх розроблення і контролю якості. Прорив у медицині українці зробили в 2004 році, першими в світі навчившись зварювати живу плоть.

Те, що ядерні технології широко використовуються в ядерній енергетиці і під час виробництва зброї, знає багато хто. А ось те, що в світі існує ядерна медицина, мало хто знає.

Використання ядерних технологій в медицині дозволяє на ранніх стадіях діагностувати і вдосконалити лікування практично всіх видів раку. Зокрема, в онкології ядерна медицина виявляє пухлини, метастази і рецидиви, визначає ступінь поширеності хвороби в організмі, лікує пухлинні утворення і оцінює ефективність терапії. В Україні забезпеченість високоенергетичними променевими установками становить 2,4 на 1 млн жителів. Для порівняння, в Німеччині – 6,4 на 1 млн жителів. На всій нашій території діють 56 центрів променевої терапії, в Німеччині таких центрів 291. Що стосується фахівців, то в Україні їх налічується 449, в Німеччині – 1054.

6.8. Застосування технології 3D-друку в медицині

Все більше технології 3D-друку знаходять застосування в медицині. Але якщо, наприклад, біодрук органів – справа майбутнього, то 3D-друк імплантів із різних біосумісних матеріалів вже можливий сьогодні. Так, відома розробка пошарового синтезу об'ємних виробів із нікелідатитану, які можна використовувати в якості імплантів, для адресної доставки ліків та в тканинній інженерії – як матриксу ("каркас") для створення втрачених тканин безпосередньо в живому організмі.

У пори такого матриксу вносяться клітини пацієнта, із яких і відбувається зростання тканини. Матрикс потім залишаються вживленними в нову структуру.

Нікелід титану (нитинол) – перспективний матеріал для імплантів і матриксу, оскільки не тільки біосумісний, але і суперпластічний, має ефект пам'яті форми, високу корозійну стійкість. До сих пір його виготовляли ливарним способом, і отримані таким чином вироби вимагали подальшого доопрацювання із урахуванням індивідуальних особливостей пацієнта. Очевидно, що точність формування поверхні виробу, зміна її шорсткості сильно залежать від точності настроювання відповідного обладнання і параметрів, що задаються. А це в свою чергу впливає на успішність установки імпланта.

3D-друк моделі необхідної ділянки організму (наприклад, ділянки кістки) на основі даних комп'ютерної томографії врятований від цих проблем. Один із застосовуваних методів 3D-друку – це технологія селективного лазерного спікання (плавлення). Із її допомогою можна отримувати і безпористі імпланти, і матриксу із контрольованою пористістю. Змінюючи дизайн внутрішньої структури порових каналів, можна інтенсифікувати проростання сполучних тканин в матрикс, збільшити площу зіткнення (а разом із нею і механічну міцність) між імплантом і кісткою. Пористі канали передбачається насичувати лікарськими препаратами – для активації імплантації, запобігання некрозу клітин. Але до сих пір синтез об'ємних виробів із нітінолу пошаровим лазерним плавленням не знаходив застосування через складність підбору параметрів процесу. Крім того, отриманий виріб вимагав подальшої термообробки, щоб уникнути деформації, утворення тріщин і розривів в об'ємі під час охолодження продукту.

Зараз експериментально встановлено оптимальні умови отримання 3D-виробів із нітінолу, які не потребують подальшого доведення. Отримувані за новою технологією зразки мають в 1,5 – 2 рази вищу мікротвердість порівняно із литими виробами. Це розширює їх застосування: не тільки для тканинних конструкцій, але і під час імплантації високонавантажених ділянок скелета в ортопедії, в щелепно-лицевій хірургії. У ході досліджень встановлено, що розмір пор такого матеріалу для успішного проростання стовбурових клітин повинен дорівнювати розмірам самих стовбурових клітин.

Ефект пам'яті форми, властивий нітінолу, використано для розроблення системи контрольованої доставки ліків. Наприклад, імплантована капсула із нітінолу, в порах якої знаходяться ліки, із підвищенням температури пацієнта змінює форму і відстані між порами. У результаті ліки вивільняються і надходять до хворої ділянки. Із одужанням температура тіла знижується, капсула повертається до "холодної" формі, відстані між порами відновлюються і вихід ліків припиняється.

6.9. Застосування інноваційних окулярів O2Amp

Поряд із мімікою, почервоніння або "побіління" шкіри обличчя розкриває емоції людини. Інноваційні окуляри "O2Amp" здатні вловлювати навіть найнезначніші зміни в кольорі шкірного покриву, щоб розповісти про самопочуття або настрій оточуючих людей (рис. 6.9).



Рисунок 6.9 – Інноваційні окуляри "O2Amp"

Доктор нейробіології Марк Чангізі (Dr. MarkChangizi) і його колега Тім Барбер (TimBarber) із "2AI Labs" у Бостоні вважають, що кольоровий зір з'явився у приматів для того, щоб допомогти виявляти соціальні сигнали, емоції та стан наших родичів або ворогів. Людське око здатне визначати тиск і кількість кисню прямо через шкіру, а окуляри "O2Amp" значно посилюють цю здатність.

Якщо говорити в цілому, набір різнокольорових лінз реалізує відразу декілька нових медичних технологій: окуляри допомагають визна-

чити насичення шкіри людини киснем, концентрацію гемоглобіну в його крові, частоту серцебиття, знайти вени під шкірою, виявити внутрішні та поверхневі травми і деякі види хвороб, а так само дозволяють дальтонікам побачити світ в нових фарбах (рис. 6.10).



а б в г

Рисунок 6.10 – Інноваційні окуляри з різнокольоровими лінзами: "Oxy-Iso" (а), "Gemo-Iso" (б), "Oxy-Amp" (в), окремо лінзи (г)

"Oxy-Iso" – лінзи насиченого кольору фуксії, які дозволяють встановити насиченість крові киснем і вуглекислим газом (рис. 6.10,а). Одягнувши їх, можна чітко побачити яскраво-сині вени і червону артеріальну кров, а так само невидимі неозброєним оком внутрішні кровотечі, сліди ударів і синці. Тому новинка здатна значно поліпшити результати первинного огляду хворих у відділеннях швидкої допомоги і знизити рівень смертності завдяки своєчасному діагностуванню. Крім того, "Oxy-Iso" здатні допомогти людям, що страждають на дальтонізм. За результатами досліджень у хворих, що користуються такими окулярами, значно збільшується сприйняття червоного і зеленого кольорів, але при цьому знижується контрастність жовтого і синього.

"Gemo-Iso" – смарагдові лінзи, які допомагають побачити концентрацію і тиск крові – наприклад, під час стискання та розжимання кулаків, перев'язування поранень тощо (рис. 6.10, б). При цьому користувач вже не розрізняє артеріальну і венозну кров. Як і попередню мо-

дель "O2Amp", ці окуляри можна використовувати тільки в умовах гарної освітленості, а ось наступний тип лінз в цьому не має потреби.

"Oxy-Amp" – лінзи ніжного бузкового кольору, які дозволяють розрізняти ледь помітне почервоніння або збліднення шкіри співрозмовника без втрати кольорового зображення навколишнього світу (рис. 6.10,в). Отже, саме ці окуляри можуть стати в нагоді в спілкуванні та служити індикатором емоцій оточуючих людей, або свого роду детектором брехні. "Oxy-Amp" зі зрозумілих причин були із захопленням зустрінуті акушерами, а так само нейрохірургами, яким доводиться протягом декількох годин проводити складні операції і піддавати серйозному випробуванню свій зір.

Крім співробітників медичної сфери, колекція окуляр "O2Amp" може зацікавити представників правоохоронних органів, найкмітливіших гравців покеру, просунутих сучасних художників для використання окуляр під час роботи над своїми полотнами.

Всі продукти "2AI Labs" мають захист від ультрафіолетового випромінювання і можуть бути використані як звичайні сонячні окуляри. Але, на відміну від останніх, ці окуляри не бояться сильних ударів, стійкі до подряпин і впливу хімічних речовин, а так само не пітніють зсередини навіть в умовах високої вологості повітря або спеки. Лінзи "O2Amp" можна вставити в будь-яку оправу або ж використовувати окремо (рис. 6.10,г). А тим часом розробки в цій області продовжуються, обіцяючи якість медичних послуг і вагоме доповнення до еволюційних навичок.

6.10. Робот Да Вінчі: переваги роботичної хірургії

Використання системи daVinci – це прорив в хірургічному лікуванні, перш за все, онкологічних захворювань (рис. 6.11). Ця технологія малоінвазивних втручань є на сьогоднішній день найдосконалішою в області ендоскопічної хірургії. Завдяки мікроінструменту, який заміняє руки хірурга, протягом 1 – 2 годин можливо радикальне видалення пухлини через невеликі проколи. За допомогою робота daVinci оперативне втручання проводиться із мінімальною крововтратою і травматизацією тканин, що в декілька разів скорочує післяопераційний та відновлювальний періоди.

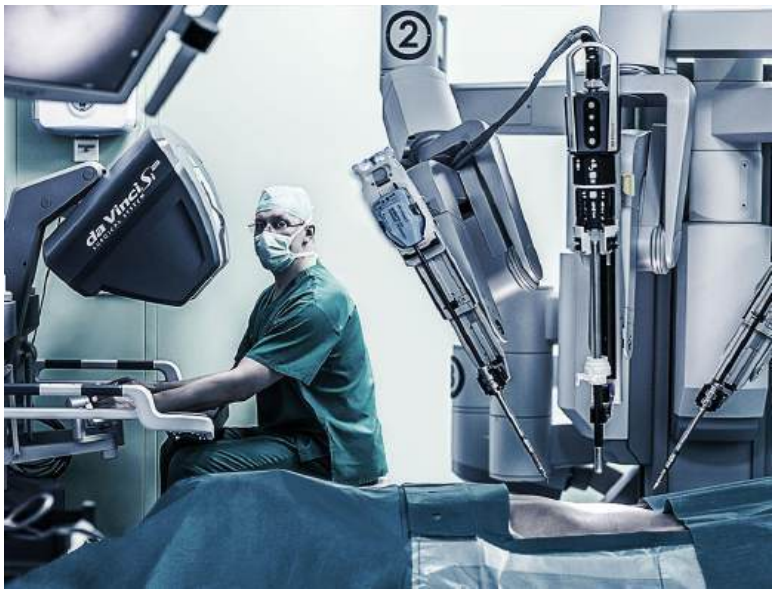


Рисунок 6.11 – ЕМС – приватна клініка, лікарі якої оперують на роботичних системах daVinciSi HD останнього покоління

Сім ступенів свободи руху хірургічного інструмента дозволяють максимально точно проводити маніпуляції без пошкодження нервових гілок і судин. Під час операції лікар отримує 3D-зображення операційного поля із 10-кратним збільшенням. Хірург управляє роботом daVinci за допомогою спеціальних маніпуляторів, які транслюють найменші рухи його пальців. Оскільки "рук" у робота три, і всі вони мають рухливість в 360 градусів, за допомогою системи daVinci можна проводити найскладніші операції в недосяжних для рук хірурга зонах – фактично через проколи на шкірі. Раніше такі втручання були найчастіше відкритими.

Застосування роботизованої техніки дозволяє проводити найскладніші оперативні втручання:

- на щитовидній залозі (лікування пухлин і вузлових утворень щитовидної залози: тіреоідектомія – видалення щитовидної залози, гемітіреоідектомія – видалення однієї частки щитовидної залози). Переваги роботизованою хірургії щитовидної залози: операції проводяться через пахвовий доступ, із мінімальними побічними ефектами і больовим синдромом, без шрамів на шиї зі збереженням голосових нервів;
- на органах голови і шиї (видалення доброякісних і злоякісних пухлин порожнини рота, носоглотки, ротоглотки, гортані, голосових зв'язок, трахеї, слинних залоз, лімфодіссекції шиї тощо).

6.11. Сучасні технології в спортивній діяльності

У сучасному світі майже кожна людина користується сучасними технологіями, адже їх впроваджують у всіх сферах життя, також і в спортивній діяльності. До нових технологій слід віднести різноманітні технічні пристрої, які використовують для вимірювання показників здоров'я та фізичної активності; мобільні додатки, які допомагають вести здоровий спосіб життя; спеціальні тренажери, які дозволяють ефективніше виконувати вправи та надають більше можливостей удосконалення свого фізичного стану [76].

Завдяки новітнім технологіям, спортсмени можуть ефективніше тренуватися та отримувати більше інформації щодо свого тіла та здоров'я. Наприклад, пульсометри дозволяють відстежувати рівень пульсу під час занять, що є дуже важливим для відстеження свого стану здоров'я, адже треба уникати перенавантаження. Якщо під час виконання вправи фітнес-браслет показує високий пульс, краще взяти маленьку перерву, випити води та посидіти декілька хвилин для нормалізування пульсу. Такі пристрої можуть показувати й кількість кроків, витрачені калорії та інші показники, що дозволяє спортсменам і тренерам більш точно контролювати тренування та розвивати програми тренувань із урахуванням індивідуальних потреб.

Додаток в смартфоні може допомогти в тренуваннях: надати відео- або аудіо-інструкцію для розуміння вірності виконання вправ, підказати найефективніше тренування для досягнення бажаного результату. Також ці додатки дозволяють вести статистику занять, фіксувати кількість пройдених кроків та відстань, а також аналізувати дані щодо здоров'я.

Ще однією важливою групою технологій є спеціальні тренажери. Вони дозволяють ефективніше виконувати вправи та зменшувати ризик травм. Наприклад, тренажери для вправ зі зваженими гирями дозволяють налаштовувати вагу та регулювати навантаження. Це дозволяє підібрати оптимальний рівень тренувань. Також існують тренажери із комп'ютерним керуванням, які дозволяють створювати індивідуальні програми тренувань та контролювати їх виконання. Тренажери для тренувань на бігових доріжках, велотренажерах та інших приладах можуть бути обладнані датчиками для моніторингу фізичних параметрів спортсмена, таких як пульс, кількість калорій, витрачених під час тренування.

Віртуальна реальність та розширена реальність дозволяють утворювати певні віртуальні умови для тренувань або змагань. Наприклад, віртуальна реальність може створити середовище для підготовки спортсмена в умовах різних непередбачених ситуацій на змаганнях. Розширену реальність використовують для вдосконалення техніки спортсменів, вона дозволяє бачити свої помилки та їх аналізувати.

Значну роль в інформаційному забезпеченні навчально-тренувального процесу грають відеоматеріали, що дозволяють подавати інформацію, пов'язану із динамічними процесами, наприклад, під час навчання різним руховим діям, проведенні спортивно-масових і культурних заходів, аналізі біомеханічних характеристик, тактичних дій тощо. Такі матеріали можуть використовуватися як самостійно у вигляді окремого тематичного відеофільму, так і бути компонентами відповідних програмно-педагогічних засобів. Вони дозволяють тренерам та спортсменам виявляти помилки у техніці та уникати їх, що є важливим для досягнення високих результатів. У спортивних змаганнях такі технології дозволяють суддям переглядати відео записи гри та приймати більш точні рішення.

Електронні системи і пристрої дозволяють не просто записувати тренування атлетів, але й зберігати безліч параметрів цих занять, у тому числі час, швидкість, витрачені калорії, діаграми пульсу і багато чого іншого. Також, у деяких видах спорту використовуються спеціальні датчики та девайси для вимірювання різних параметрів, що дозволяє забезпечити більш точне визначення результатів, наприклад:

- технологія в тенісному арбітражі, зокрема система "Соколине око", яка моделює траєкторію польоту м'яча і визначає точку його падіння за допомогою камер, а кадри передаються на екрани комп'ютерів;
- розумний м'яч у гандболі, який має вбудовані датчики стеження, здатний отримувати інформацію щодо швидкості, підсумкового попадання в певну точку і траєкторію польоту. Завдяки цьому, глядачі оперативно отримують інформацію щодо сили і швидкості кожного кидка гравців на майданчику, що робить гандбол одним із найбільш технологічних видів спорту.

Спортивна медицина також широко використовує сучасні технології, зокрема, датчики та девайси для моніторингу фізичного стану і здоров'я спортсменів. Це дозволяє медикам вчасно реагувати на проблеми

та уникнути травм. Надання можливості кожній людині здобути знання щодо особливості функціонування організму людини, методів і засобів побудови оздоровчих занять, основ здорового способу життя в наочній та доступній для сприйняття формі (відеоролики, малюнки, схеми) є перспективним напрямом реалізації інформаційних технологій.

Використання технологій в фізкультурно-оздоровчій і спортивній діяльності допомагає підвищити ефективність тренувань, контролювати здоров'я та знижувати ризик травм, а також стимулює інтерес до спорту серед молоді. Застосування таких технологій може бути корисним для будь-кого, хто займається фізкультурно-оздоровчою та спортивною діяльністю, незалежно від рівня підготовки та віку. Таким чином, сучасні технології відкривають нові можливості для здорового та активного способу життя, підвищуючи ефективність і безпеку занять фізкультурою та спортом.

Запитання для самостійного контролю

1. На яких ефектах засновано біомедицінську інженерію та області її застосування?
2. У чому суть комп’ютерного моделювання в біомеханіці?
3. Основні переваги інженерних технологій у медицині.
4. Що таке комп'ютерна томографія, її практичне застосування?
5. Що собою представляє сучасний комп'ютерний томограф?
6. Сутність побудови зображення в комп'ютерному томографі.
7. Магнітно-резонансна томографія та її відмінності від комп'ютерної томографії.
8. Ультразвукова діагностика. На якому ефекті вона заснована?
9. Призначення сонограми та що вона собою представляє?
10. Основні напрями застосування лазерних систем в медицині.
11. Перспективи розвитку біомедичної інженерії.
12. Що собою представляє технологія 3D-біопрінтінга?
13. Що таке технології 3D-друку та їх застосування в медиціні?
14. Що таке інноваційні окуляри "O2Amp" та їх застосування?
15. Приклади застосування роботизованої техніки в медиціні.
16. Назвіть сучасні технології в спортивній діяльності.

Література: [20, 31, 69, 76, 109, 112, 136].

Розділ 7. Інноваційні технології у машинобудівній промисловості

7.1. Пріоритетні напрями технологічного розвитку

На різних етапах розвитку суспільства, що характеризують різноманітність напрямів науково-технічного прогресу, виділяють пріоритетні напрями, які відрізняються більш високими темпами розвитку, більшою концентрацією кадрів, матеріальних ресурсів і мають велику соціальну значущість розроблювальних проблем.

Пріоритетні напрями можуть бути національними (окремих країн), регіональними (міжнародних об'єднань та організацій) та глобальними. Вони визначаються типом організації суспільства та його економічних відносин. Пріоритетні напрями науково-технічного прогресу (НТП) – це особливість стратегії науково-технічного розвитку передових у науковому та економічному аспектах країнах.

Сучасною та прогресивнішою вважають таку технологію, яка забезпечує більш якісний продукт за найменших питомих витрат ресурсів. Основні напрями та особливості розвитку сучасних технологій визначають за такими чинниками: жорсткими вимогами до якості продукції виробничої системи; частою зміною продукції; економією всіх видів ресурсів; забезпеченням урівноваженого природокористування; зростанням людського чинника; можливостями нової техніки.

Технології безперервно оновлюють із розвитком науки і техніки. Основні тенденції розвитку сучасних виробничих технологій становлять три основні напрями:

- перехід від дискретних (циклічних) технологій до безперервних (потокових) виробничих процесів, які є найбільш ефективними та економічними;
- упровадження замкнених (безвідхідних) технологічних циклів у складі виробництва, які є найбільш екологічно нейтральними;
- підвищення наукомісткості "високих" і "новітніх" технологій, які є найбільш пріоритетними в бізнесі.

До пріоритетних напрямів розвитку технологій на сучасному етапі слід зарахувати: забезпечення мінімальної кількості операцій у технологічному процесі; застосування мало- або безвідхідних технологій;

поєднання (об'єднання) технологій із мікроелектронікою; застосування наукомістких технологій; формування інноваційних технологічних систем, що об'єднують різні процеси і засоби для їхньої реалізації.

Кожен виріб, що постачається в умовах жорсткої конкуренції на внутрішній і, особливо, на зовнішній ринок, повинен мати новий рівень властивостей і відповідати все зростаючим вимогам, які пред'являються потенційним споживачем до функціональних, екологічних та естетичних властивостей (рис. 7.1) [12, 14, 23, 33, 59, 71, 80, 93, 94, 96, 103].

У зв'язку із цим, дедалі більшу увагу фахівців привертають *нетрадиційні технології*, створенню яких передує накопичення великих фундаментальних і прикладних наук. На відміну від традиційних, частіше аналогових технологій, такі технології називають "наукоємними", "високими", "прецизійними", "ультрапрецизійними", "нанотехнологіями" тощо [7, 9, 11, 34].

Ці назви нових технологій пов'язані із тією або іншою ознакою технологічного процесу або властивостями виробу, які прийняті авторами як визначальні. При цьому до уваги найчастіше приймається гранична точність, що забезпечується цим робочим процесом. Термін "нанотехнологія" використовується для визначення систем обладнання та технологій інтегрованого виробництва, які забезпечують обробку із точністю близько 1 нанометра (нм). У ширшому плані "нанотехнологія займається системами, нові функції та властивості яких залежать тільки від наноефектів їх компонентів", як звучить академічне визначення поняття, що надає Союз німецьких інженерів. Відомо, наприклад, що у світ мікровиробів можуть вести два шляхи: можна із масивної заготовки, наприклад, із кремнію, шліфуванням отримувати необхідний точний мініатюрний виріб. За цим принципом функціонує системна техніка, яка займається, в основному, структурами розмірів від міліметра (мм) до мікрометра (мкм). Інший можливий шлях: беруться окремі атоми, молекули або частинки із них, які, як цеглинки, створюють бажану структуру. Цей принцип застосовують у нанотехнології, яка займається створенням структур розміром менше нанометра (мільйонної частки міліметра).

Таким чином, терміни, що застосовуються до нових технологій, не є вичерпними, оскільки не відображають всієї складності та ємності нових технологій, всього спектру і нового рівня функціональних та інших властивостей макро- та мікровиробів.







Рисунок 7.1 – Продукція сучасного машинобудування

Як показано у п. 1.4, *високими технологіями* (ВТ) слід вважати такі технології, які, володіючи сукупністю основних ознак – наукомісткістю, системністю, фізичним та математичним моделюванням із метою структурно-параметричної оптимізації, високоефективним робочим процесом розмірної обробки, комп'ютерним технологічним середовищем та автоматизацією всіх етапів розроблення та реалізації, стійкістю та надійністю, екологічною чистотою – за відповідним технічним і кадровим забезпеченням (прецизійне обладнання, оснащення та інструмент, певний характер робочого технологічного середовища, система діагностики, комп'ютерна мережа управління та спеціалізована підготовка персоналу) гарантують отримання виробів, що володіють новим рівнем функціональних, естетичних та екологічних властивостей.

Найважливішою ознакою високих технологій є *робочий процес*.

Суттєвою ознакою високих технологій є *автоматизація*, що базується на комп'ютерному управлінні всіма процесами проектування, виготовлення і складання, на фізичному, геометричному і математичному моделюванні, всебічному аналізі моделей процесу або його складових.

Системний підхід передбачає використання не окремих математичних моделей, а системи взаємозалежних моделей із неодмінною параметричною і структурною оптимізацією [13, 32, 58, 68, 98,100].

У сучасних умовах неодмінною ознакою високих технологій є їхня екологічна орієнтація, гармонізація із навколишнім середовищем.

Залежно від максимально досяжної точності всі робочі процеси можна розподілити на звичайні, точні (прецизійні) та надзвичайно точні (ультрапрецизійні). Кожне десятиліття відбувалося підвищення точності на один клас ISO і шорсткості до 0,001 мкм. Таким чином, нове тисячоліття технологія розмірної обробки відзначає переходом від мікрометричного до нанометричного діапазону точності.

Можливості робочих процесів, на яких базуються нанотехнології, наближаються до граничних, критичних, тобто теоретичним обмеженням точності під час обробки матеріалів поділом кристалічної решітки є розміри молекули або атома речовини (0,2 – 0,4 нм).

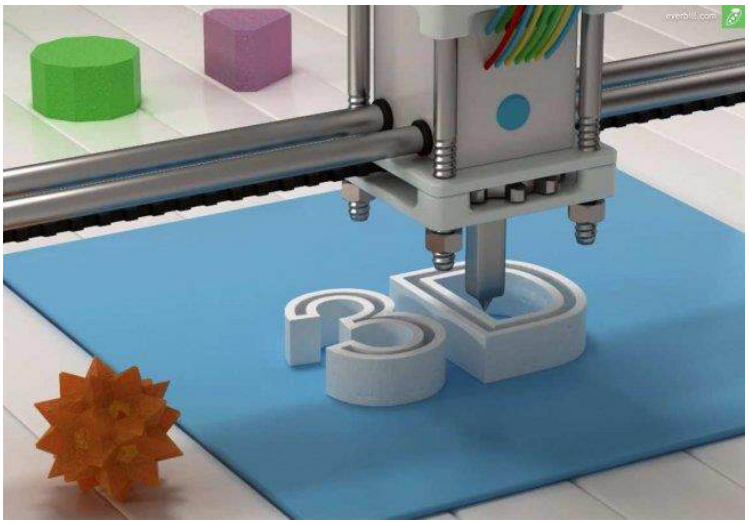
Інтегрований робочий процес прискореного формоутворення виробу або його прототипу Rapid Prototyping (RP). Виготовлення моделей та прототипів, необхідних у межах створення виробу, відбувається, як правило, за допомогою звичайних технологій, за необхідності у комбінації з ливарним виробництвом. Зокрема, тут знаходять

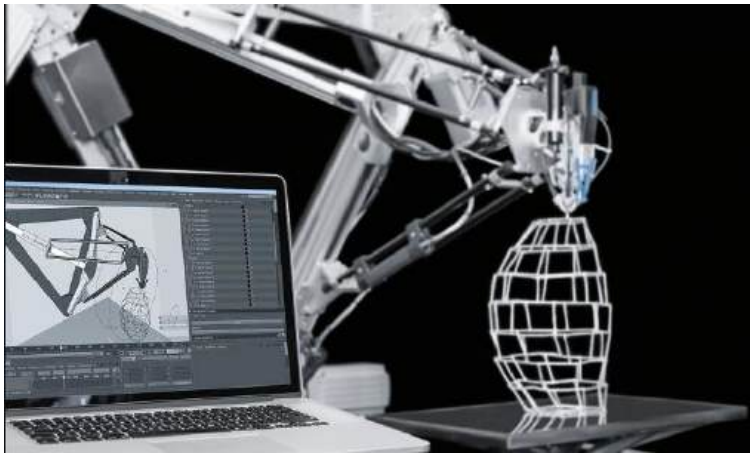
застосування NC – фрезерні верстати, копіювальні фрезерні, токарні верстати тощо. Крім цього, ці моделі вручну збирають, склеюють, спаюють. Нові етапи розвитку науки, інформатики, техніки CNC, лезерної технології тощо дозволили перейти до інтегрованих способів прискореного формоутворення, позбавитися декількох фаз створення прототипів, розглянутих вище [11, 34].

Сутність методу. Інтегрований робочий процес прискореного виготовлення деталей або їх прототипів є органічним з'єднанням можливостей комп'ютерних технологій обробки інформації та трикоординатного моделювання (CAD) і сучасних способів виготовлення. Спосіб дозволяє в часі та просторі поєднати або надзвичайно зблизити конструювання і виготовлення типової або одиничної моделі або безпосередньо деталі та скоротити час на їх виготовлення залежно від ступеня складності на 30 – 70 %. Цей генеративний процес, який отримав назву Rapid Prototyping, зародився понад 20 років тому. Але вже зараз, за даними дослідників, у світі є надзвичайно велика кількість установок, що працюють за ідеологією Rapid Prototyping, в яких реалізуються різні принципи. Області застосування цього робочого процесу найширші: машинобудування, авіація, космічні дослідження, автомобілебудування, електроніка, медицина, бізнес тощо. Сьогодні можна стверджувати: сучасними є ті галузі, де застосовується Rapid Prototyping.

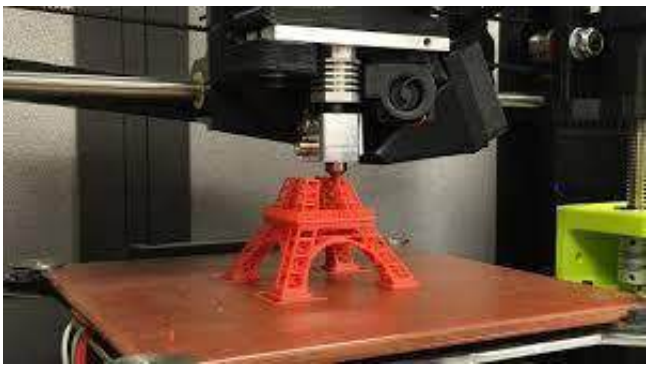
Ідеологія прискореного формоутворення виробу (моделі, прототипу) базується на: можливості комп'ютерного автоматизованого проектування виробу (за кресленням, аналітичними залежностями або результатами вимірювань), комп'ютерній оптимізації його конструкції, виходячи з вимог дизайну, форми, функціональних властивостей CAD; трансформації трикоординатної моделі у сукупність пошарових двовимірних, двокоординатних моделей; можливості відтворити цю сукупність пошарових моделей, тобто матеріалізувати всю модель як єдине ціле, як твердотільний виріб або його прототип (CAM).

Способи матеріалізації 3D CAD-моделей є найважливішою складовою інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення, виготовлення виробів або їх прототипів, оскільки вони багато в чому визначають скорочення часу створення виробу, продукту довільної, найскладнішої форми; ступінь підвищення якості виробу; скорочення сумарних виробничих витрат. У сукупності ці чинники визначають конкурентоспроможність продукту на ринку (рис. 7.2).









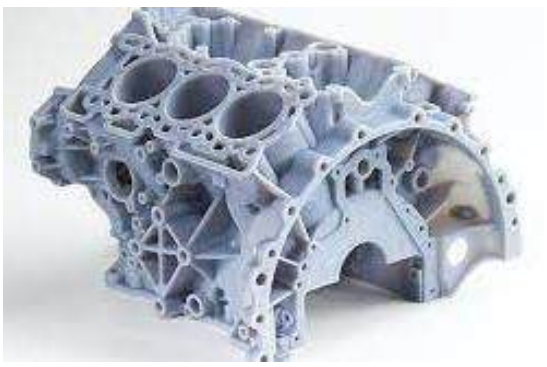


Рисунок 7.2 – Способи матеріалізації 3D CAD-моделей

Розроблені до цього часу способи матеріалізації теоретичних моделей різні за багатьма ознаками, технологічними можливостями тощо. Проте всім існуючим способам властиво багато чого спільного:

- всі прототипи або вироби виготовляються на основі даних 3D CAD-моделювання;
- всі прототипи або вироби виготовляються пошарово;
- власне, виріб або його прототип отримують не шляхом відділення, зняття припуску із заготовки, а за допомогою нарощування, додавання матеріалу;
- нарощування матеріалу в процесі формоутворення відбувається в перехідній фазі від рідкого або порошкоподібного до твердого стану;
- виготовлення конструктивного елемента не вимагає форм або інструменту, а отже, відпадають проблеми, пов'язані зі зношуванням інструменту під час формоутворення різанням, штампуванням куванням тощо;
- відсутність обмежень, пов'язаних зі складністю форми виробу (внутрішні порожнини, складні внутрішні або зовнішні поверхні), чим складніше конфігурація виробу, тим більше перевага процесу;
- різке скорочення витрат часу;
- ефективність всіх способів RP суттєво підвищується за їх комбінації із завершальною технологією виготовлення твердотільних виробів – вакуумне лиття, лиття під тиском тощо.

Методи, що використовуються, отримали умовне позначення, яке складається із початкових букв слів, що складають назву способів матеріалізації (RP):

- SL (SLA) – Stereolithography – спосіб стереолітографії;
- SLS (LS) – Selective Laser Sintering – виборче лазерне спікання;
- LOM – Lamenated Object Manufacturing – виготовлення шаруватих об'єктів;
- FDM – Fused Deposition Modeling – моделювання оплавленням;
- SGC – Solid Ground Curing – основний термічний вплив;
- BPM – Ballistic Particle Manufacturing – виготовлення із використанням балістики;
- DLF – Directed Light Fabrication – виготовлення спрямованим світлом;

- DSPC – Direct Shell Production Casting – пряме блочне виготовлення оболонки;
- MJS – Multiphase Jet Solidification – багатофазне затвердіння струменя;
- 3Dprinting – TDP – Three Dimensional Printing – за принципом трикоординатного глибокого друку.

Ці способи можна систематизувати за такими ознаками, як стан вихідного матеріалу, використання лазерної техніки тощо. Способи можна згрупувати також за марками матеріалів:

- Фотополімери – SLA, SGC;
- Термопласти – SLS, SL, FDM;
- Віск – SLS, SL, FDM;
- Папір, фольга – LOM;
- Кераміка – TDP;
- Метали – SLS, FDM, MJS.

Розглянемо принципи і сутність основних із застосовуваних способів матеріалізації тривимірних математичних моделей виробів.

Спосіб стереолітографії (SL). За цим способом геометричне відтворення деталі здійснюється пошарово дисперсійним твердінням рідкого фотополімеру за допомогою UV-лазера (фотополімеризація). Звичайні товщини шару становлять від 0,05 до 0,2 мм. На основі 3D CAD-даних для окремих площин перетину розробляють керуючі програми для XY-сканування поверхні рідкого фотополімеру.

Конструктивний елемент будується поступово на платформі носія, яка на початку обробки знаходиться безпосередньо під поверхнею полімеру. Промінь лазера, керований комп'ютером, проходить поверхнею рідкого полімеру, "скануючи" її частину відповідно до конфігурації першого шару. Відбувається дисперсійне твердіння цього шару рідкого фотополімеру, після чого платформа носія опускається на величину, що дорівнює товщині твердого шару. Так послідовно відбувається відтворення тривимірної геометрії конструктивного елемента.

SL-метод сьогодні є найточнішим. Із його допомогою можна виготовити дуже складні геометричні поверхні з внутрішніми порожнечами і найтоншими стінками та отворами в субмікрообласті. SL-метод не тільки найточніший і найвідоміший RP-метод, але й найпоширеніший у світі: 50 % всіх RP-пристроїв припадає на стереолітографію.

Стереолітографія пов'язана із фотополімерами і, відповідно, світлочутливі властивості домінують над усіма іншими властивостями матеріалу, такими як твердість, еластичність, температурна стійкість.

Типовими прикладами способу SL є корпусні деталі. Складні тонкостінні вироби виготовляють із високою точністю та якістю.

Прототип служить для перевірки конструкції, перевірки ергономіки і дизайну, виробництва і монтажу, а також для комунікації, аргументації під час перемовин із підприємствами-постачальниками. Тоді як виготовлення зразків деталей звичайними методами побудови моделей займало декілька тижнів, цей термін скорочується завдяки застосуванню SL у 8 разів. Повний процес виробництва конструктивного елемента (КЕ) включає очищення, остаточне загартування і ручне доопрацювання.

7.2. Ефективність застосування сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" та ріжучих лезових твердосплавних і керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями

Серед великої кількості чинників, що визначають умови підвищення ефективності діяльності підприємства, слід особливо виділити модернізацію виробництва, його технічне переозброєння новими технологіями, обладнанням, інструментами та оснащенням. Цьому значною мірою сприяють останні досягнення у галузі мікропроцесорної техніки, які відкрили нові перспективи створення високоефективних металообробних верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) типу "обробний центр".

В останні роки на багатьох промислових машинобудівних підприємствах України здійснюється модернізація металообробного виробництва. На зміну застарілому металообробному обладнанню приходять сучасні високообертові металообробні верстати із ЧПУ типу "обробний центр" (рис. 7.3) [28, 33, 65, 71].

За умови раціонального використання такі верстати забезпечують підвищення у 10 – 100 разів продуктивність праці та досягнення високих показників якості виготовлення деталей машин. Приблизно в таку ж кількість разів можна збільшити продуктивність праці від застосування

прогресивних конструкцій ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями, особливо збірних конструкцій твердосплавних інструментів, що працюють в умовах високошвидкісного різання. Це створює об'єктивні передумови кардинальної перебудови виробництва, виходу машинобудівних підприємств із кризи, організації випуску вітчизняної високоякісної конкурентоспроможної машинобудівної продукції та виходу на світові ринки. Особливо це відноситься до таких наукомістких галузей промисловості як літакобудування, енергетичне і транспортне машинобудування, а також інших галузей, де використовують останні досягнення науки і техніки.



Рисунок 7.3 – Обробка деталі "Прокатний валок" на високопотужному токарному обробному центрі PUMA 4100B

Характерною особливістю машинобудівної продукції, що випускається, є її високий технічний рівень і складність виготовлення. Це пов'язано із високими вимогами до точності та якості її виготовлення, особливо, складнопрофільних деталей, що входять, наприклад, до складу виробів гідроапаратури, оскільки вони повинні забезпечувати задану гідрощільність і витримувати високі тиски в системах, здійснювати впорскування порції рідини за час, що обчислюється в сотих і тисячних частках секунди. В значній мірі це відноситься до прецизійних деталей пар тертя, які працюють в умовах інтенсивного тертя та зношування. У зв'язку із цим потрібно забезпечити високу точність розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей (1 ... 10 мкм), шорсткість поверхні на рівні Ra = 0,04 ... 0,2 мкм. При цьому на оброб-

лених поверхнях не повинно бути припікань, мікротріщин, відколів та інших температурних дефектів. Необхідно виключити глибокі структурні перетворення в поверхневих шарах оброблюваної деталі, викликані температурним чинником, оскільки це може привести до прихованих дефектів обробки і передчасного виходу із ладу деталі. Необхідно також під час обробки домогтися суттєвого зменшення теплової напруженості процесу, щоб виключити появу небажаних температурних деформацій тонкостінних оброблюваних деталей, які широко застосовують у гідроапаратурі. При цьому надзвичайно важливо домогтися максимально можливої продуктивності праці та знизити собівартість обробки до економічно прийнятного рівня.

Однак, як показує виробничий досвід, виконати зазначені вимоги достатньо складно, оскільки деталі виготовляють із матеріалів із високими фізико-механічними властивостями (високоміцні сталі та сплави, високотверді крихкі магнітні сплави, пластичні кольорові метали тощо) і їх обробка пов'язана із утворенням різноманітних похибок обробки, температурних дефектів і окремих рисок-подряпин на оброблюваних поверхнях. Для їх усунення технологічними процесами передбачено виконання великої кількості додаткових трудомістких операцій доведення, полірування та ручної обробки, що значно підвищує собівартість і, відповідно, знижує ефективність виготовлення деталей. Тому вдосконалення технологій їх обробки на основі критеріїв максимальної продуктивності та найменшої собівартості обробки є актуальним завданням, спрямованим на створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції.

Для підвищення ефективності механічної обробки відповідальних деталей машин, виготовлених із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями, як уже зазначено, в останні роки широко застосовують сучасні високообертові металообробні верстати із ЧПУ типу "обробний центр" і ріжучі лезові твердосплавні та керамічні інструменти зі зносостійкими покриттями, що характеризуються підвищеною зносостійкістю. Підтвердженням цього є досвід модернізації виробництва на низці машинобудівних підприємств міста Харкова та загалом в Україні завдяки технічному переозброєнню новими наукомісткими технологіями виготовлення машин.

Приклади ефективного застосування нових технологій машинобудування.

1. Розглянемо можливості збільшення продуктивності завдяки застосуванню прогресивного інструменту фірми TaeguTec на прикладі обробки деталі "Пропуск" (рис. 7.4). На одному із промислових підприємств низька продуктивність обробки вітчизняним ріжучим інструментом не дозволяла виконати план виробництва. Застосування торцевої фрези серії Chase2Hepta (рис. 7.5) із багатогранними пластинами забезпечило збільшення продуктивності в 6,5 разів. При цьому, завдяки 14 кромкам фрези та високій стійкості фрезерних пластин XNMU, підприємство знизило витрати на інструмент більше ніж у 2 рази, навіть порівняно із недорогими вітчизняними аналогами (табл. 7.1).



Рисунок 7.4 – Деталь "Пропуск"



Рисунок 7.5 – Ріжучий інструмент Chase2Hepta

Таблиця 7.1 – Нова технологія обробки ріжучим інструментом фірми TaeguTec

Параметри	Ріжучий інструмент фірми TaeguTec	Вітчизняний аналог
Матеріал	Чавун хромистий низьколегований жароміцний ЧХ1	
Фреза	14D-F45XN 12125-40R-09	D160Z8
Пластина	XNMU 0906 ANTR-M TT6080	П'ятигранка (5 кромок)
Швидкість різання	110 м/хв / 280 об./хв	28 м/хв / 56 об./хв
Подача на зуб	0,06 мм/зуб / 200 мм/хв	0,07 мм/зуб / 31 мм/хв
Глибина різання	2,5 – 3 мм	
Ширина різання	50 – 125 мм	
Стійкість	140 площин	10 площин
Вартість обробки	2,5 грн	5,7 грн

2. Для підвищення ефективності механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем та інших деталей із важкообробних матеріалів у Приватному АТ "Гідросила АПМ" (м. Кропивницький) придбано сучасні високообертові металообробні верстати із ЧПУ типу "обробний центр" (DOOSAN) і прогресивні збірні конструкції ріжучих твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея). Встановлено, що застосування збірної твердосплавної кінцевої фрези зі зносостійким покриттям замість вітчизняної монолітної кінцевої фрези під час фрезерування деталі із сталі Х2ГСНВМ-ВД дозволяє в 6,7 разів зменшити собівартість і в 8,6 разів підвищити продуктивність обробки, незважаючи на її більш високу вартість. Це пов'язано, по-перше, із тим, що на цих верстатах реалізується високопродуктивна високошвидкісна обробка, а, по-друге, із тим, що частка витрат на інструмент у собівартості обробки невелика (5 – 7 %), а ефект зменшення собівартості від застосування збірної кінцевої фрези досягається завдяки багаторазовому збільшенню продуктивності.

Експериментально встановлено, що застосування сучасних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операціях точіння, розточування, фрезерування та свердління деталей

гідравлічних систем (плунжера, п'яти, втулки сферичної) дозволило в середньому в 3 – 5 разів (а в ряді випадків до 10 разів) підвищити продуктивність і зменшити собівартість обробки із забезпеченням високої якості оброблюваних поверхонь. Експериментально також доведено можливість зниження собівартості обробки завдяки універсалізації обладнання із ЧПУ шляхом використання нестандартних ріжучих інструментів і спеціального оснащення, а також нестандартних підходів до контролю якості – впровадження комп'ютерної CAM-системи ESPRIT, що виключає проміжні вимірювання у процесі обробки деталі.

3. Впровадження сучасних збірних твердосплавних ріжучих інструментів та обладнання із ЧПУ дозволило вирішити у ПАТ "Дніпрополімермаш" (м. Дніпро) проблему створення складнопрофільних робочих поверхонь сектора (елемента) прес-форми для шини діаметром 2200 мм. За діючою технологією обробку здійснювали протягом 180 годин. Із метою підвищення ефективності обробки були придбані верстати із ЧПУ типу "обробний центр" (DOOSAN) та прогресивні збірні конструкції ріжучих твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея). Їх застосування дозволило виключно завдяки підвищенню режимів різання (перехід у область високошвидкісної обробки) та зменшенню кількості проходів скоротити машинний час до 15,5 годин. У результаті досягнуто зменшення машинного часу в 11,5 разів, що дозволило підприємству виграти тендер на постачання виробів вартістю у мільйони доларів. Ефект обумовлено застосуванням нових збірних твердосплавних інструментів (торцевих і кінцевих фрез) із механічним кріпленням пластин виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея) [27].

4. ПАТ "Харківський машинобудівний завод "Світло шахтаря" є основним виробником в Україні шахтних конвеєрів, до складу яких входять редуктори потужністю понад 200 кВт. При цьому мають місце суттєві проблеми виготовлення габаритних зубчастих коліс, особливо на фінішних операціях зубошліфування. Традиційно обробку здійснювали із застосуванням схеми зубошліфування за методом обкату, що характеризується низькою продуктивністю. У зв'язку із цим застосовано нову технологію, засновану на методі профільного копіювання на сучасному зубошліфувальному верстаті моделі HOFLER RAPID 1250 (в умовах глибинного шліфування) із використанням високопористого профільного абразивного круга. Порівняно із традиційно застосовуваною схемою

зубошліфування за методом обкату це дозволило до 5 разів збільшити продуктивність обробки, а також всю річну програму обробки зубчастих коліс здійснювати на одному новому верстаті. Раніше для цього використовували 4 зубошліфувальні верстати, що працюють за методом обкату. При цьому знімання основної частини припуску (0,4 мм) здійснюється за один прохід круга. Забезпечується необхідна точність обробки – в межах 0,01 мм. На оброблюваних поверхнях відсутні припікання та інші температурні дефекти, що указує на високу якість обробки зубчастих коліс. Фактично повністю виключено брак обробки, який за діючою технологією досягав приблизно 95 %. Термін окупності придбаного верстата становить 1 рік. Вивільнено 3-х робітників-шліфувальників на операціях зубошліфування.

Цим заводом також придбано сучасний горизонтально-свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат WHQ13 із ЧПУ типу "обробний центр" і сучасну вимірювальну машину (Чехія) для забезпечення обробки корпусів редукторів приводів шахтних конвеєрів. Застосування придбаного металообробного верстата із ЧПУ дозволило вирішити дуже важливу проблему якості обробки робочих поверхонь редукторів (головним чином, високоточних отворів діаметром понад 500 мм). Вдалося у 2 рази і більше підвищити продуктивність обробки та фактично виключити брак продукції. Термін окупності придбаного верстата становить 2,5 роки. Вивільнено 2-х робітників-верстатників.

Значних успіхів у застосуванні сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ досягнуто, насамперед, на підприємствах авіаційного комплексу, де гострою є проблема виготовлення високоточних деталей. Так, на ДП "Харківський машинобудівний завод "ФЕД" для вирішення цієї проблеми придбано та ефективно використовується до 50 одиниць сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" виробництва провідних закордонних верстатобудівних фірм. У результаті більше половини складних у виготовленні деталей гідро- та паливорегулюючої апаратури авіаційного призначення (виготовлених із високоміцних сплавів і сталей) обробляється на таких верстатах за новими технологіями. Це дозволило, по-перше, гарантовано забезпечити високі вимоги щодо точності та якості оброблюваних поверхонь, тобто успішно здійснити прецизійну обробку деталей. По-друге, багаторазово зменшити трудомісткість обробки, оскільки за діючими технологіями обробку деталей здійснювали на

різних металообробних верстатах, а це вимагало їх тривалого налагодження, переустановлення оброблюваних деталей, що також приводило до зниження точності обробки. Завдяки застосуванню сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр", досягнуто зменшення трудомісткості обробки для фрезерної групи верстатів у 3,9 рази, токарної групи – у 3,4 рази, шліфувальної групи – у 3,1 рази, тобто в середньому до 3,5 разів.

За новими технологіями обробка деталей здійснюється на одному верстаті фактично із одного установа в автоматизованому режимі. Це забезпечує більш точне позиціонування оброблюваної деталі, різко зменшує трудомісткість її виготовлення. Наприклад, складну у виготовленні деталь "водило" раніше обробляли на універсальному устаткуванні із застосуванням великої кількості токарних, фрезерних і свердлильних операцій. Зараз ці операції об'єднані в одну операцію, яка виконується на сучасному обробному центрі Picomax 60. Якщо раніше для обробки цієї деталі використовували 47 різних видів ріжучих інструментів, то за новою технологією − 23 інструменти. Таким чином, досягнуто значну економію із витрати ріжучих інструментів. При цьому стабільно забезпечується необхідна шорсткість оброблюваної поверхні на рівні Ra = 0,63 мкм, похибка обробки отворів − 0,01 мм, міжцентрові відстані забезпечуються із допусками на розміри $\pm$0,01 мм. Продуктивність праці підвищилася у 2,5 рази, що дозволило скоротити число працівників із 8 до 2-х.

Під час виготовлення більш складних корпусних деталей, які раніше вимагали, наприклад, до 200 операцій механічної обробки (особливо фінішної обробки), завдяки застосуванню нових технологій і сучасного обладнання кількість операцій зменшилася до 2 разів. Це суттєво знижує трудомісткість обробки деталей із забезпеченням необхідних показників точності та якості обробки. Для цього використовується гама прогресивних високообертових метталообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр": "PICOMAX", "HERMLE", "SPINNER" тощо. Обробка корпусних деталей на цих верстатах здійснюється на підвищених швидкостях різання (n = 4000 – 20000 об./хв) із подачею (S = 6 – 30 м/хв). Разом із тим, ці верстати – закордонного виробництва і дуже коштовні. Тому питання їх придбання підприємством вимагають ретельного економічного аналізу та, насамперед, із точки зору зменшення собівартості на операціях обробки деталей машин, оскільки

зменшення собівартості обробки – це найважливіший шлях до збільшення прибутків і рентабельності товарної продукції, підвищення промислового виробництва.

Значну увагу на ДП ХМЗ "ФЕД" приділено розробленню технологій виготовлення високоточних отворів у деталях гідро- і паливорегулюючої апаратури, оскільки їхня питома вага в загальному технологічному циклі обробки значна і становить більше 50 %. Тому запропоновано для фінішної обробки отворів використовувати прогресивний метод високошвидкісного фрезерування кінцевими фрезами, що забезпечує високопродуктивну і високоточну бездефектну обробку і є надзвичайно перспективним напрямом у механічній обробці. У результаті відхилення від циліндричності отвору стабільно змінюється в межах 0,01 мм, а параметр шорсткості поверхні Ra перебуває на рівні 0,32 мкм, що відповідає вимогам на обробку. Крім того, забезпечується збільшення продуктивності обробки в 1,8 разів. Перехід від звичайного фрезерування дугових пазів шириною 2,5 … 5 мм у деталях із загартованих сталей до високошвидкісного фрезерування (n = 8000 об./хв і більше) дозволив суттєво (до 3 разів і більше) підвищити стійкість кінцевих фрез і продуктивність обробки за одночасним поліпшенням якості та точності оброблюваних поверхонь. Застосування високошвидкісного різання також дозволило суттєво скоротити машинний час обробки пазів і отворів у різних деталях (табл. 7.2) і, відповідно, зменшити витрати на їхнє виготовлення.

Таблиця 7.2 – Значення машинного часу обробки різних деталей за діючою і розробленою технологіями фрезерування

Деталь	Машинний час обробки, хв.		
	діюча технологія	розроблена технологія	зниження часу обробки
Ротор	129,80	27,03	102,77
Опора	143,04	49,66	93,38
Кожух	887,91	196,95	690,56
Диск	496,03	118,45	377,58
Шайба	96,45	25,00	71,45
Сепаратор	60,29	19,11	41,18
Блок циліндрів	1224,50	349,94	874,62

Впровадження розроблених технологій на ДП ХМЗ "ФЕД" дозволило поліпшити техніко-економічні показники виробів до рівня світових виробників авіаційної техніки (фірми Sundstrand, США, яка спеціалізується на виготовленні гідро- та паливорегулюючої апаратури авіаційного призначення). Розглянемо конкретні приклади ефективного застосування на операціях металообробки сучасних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями закордонного виробництва.

1. Ефективність застосування спеціальних фрез FF для усунення вібрацій під час фрезерування та підвищення якості й продуктивності обробки, зниження зношування інструменту [86].

Оброблювана деталь: "Хрестовина"; матеріал – 18Х2Н14МА; твердість заготовки 35 HRC; операція – розфрезерування шістьох карманів деталі глибиною 60 мм (рис. 7.6).



Рисунок 7.6 – Деталь "Хрестовина"



Рисунок 7.7 – Фреза від компанії Іскар серії HELI-6-FEED

Традиційно обробку здійснювали фрезою монолітного типу зі значною глибиною різання та невеликою подачею (Ар = 5 мм, N = 300 об./хв; F = 150 мм/хв). Проблема виробництва полягала в наявності вібрацій, для усунення яких потрібно було зменшувати режими різання, що, в свою чергу, призводило до зменшення стійкості інструменту та збільшення машинного часу.

Тому запропоновано новий підхід та інструмент у вигляді фрези типу FF зі змінними механічними пластинами від компанії Іскар серії HELI-6-FEED (рис. 7.7, рис. 7.8). Під час випробовування цього інструменту досягнуто значне збільшення швидкості обробки (Ар = 0,5 мм,

N = 1600 об./хв, F = 2280 мм/хв), вдалося скоротити машинний час в 2,3 рази, а також значно підвищити стійкість інструменту.

Деталь: "Огородження"; матеріал деталі – сталь 35; операція – розфрезерування отвору діаметром 125 мм, глибиною 90 мм на вильоті більше 620 мм (рис. 7.9).

Для обробки на значному вильоті (більшому ніж 620 мм) запропоновано використання фрези від компанії Іскар серії HELI-6-FEED діаметром 80 мм.



Рисунок 7.8 – Деталь "Хрестовина" після виконання операції



Рисунок 7.9 – Деталь "Огородження" на верстаті

Випробування цього інструменту показало стабільний процес різання, мінімальні вібрації, відмінне стружкоутворення та задовільну стійкість (рис. 7.10).



а



б

Рисунок 7.10 – Порівняння якості обробки отвору "до" (а) впровадження інструменту FF від компанії Іскар та "після" (б)

Таким чином, використання спеціальних фрез для високих подач є ефективним методом усунення вібрацій під час фрезерування на фрезерних верстатах, що сприяє підвищенню якості обробки, збільшенню продуктивності та зниженню зношування інструменту.

2. Альтернативний метод отримання шорсткості на плоских поверхнях деталей у машинобудуванні на базі ріжучого інструменту компанії TaeguTec [91].

Високі вимоги до оброблюваної поверхні деталі (задані точність, шорсткість і площинність), зазвичай, реалізуються завдяки фінішній обробці поверхні деталі шліфуванням. При цьому допуск на точність розмірів отримуваних деталей досягає 10 мкм, а в деяких випадках 1 – 2 мкм, а шорсткість поверхні коливається в діапазоні 1,0 ... 0,2 мкм.

Незважаючи на всі переваги, операція шліфування має низку недоліків, серед них:

- поява припікань на оброблюваних поверхнях і, як наслідок, погіршення фізико-механічних властивостей поверхневого шару металу під ними;
- підвищення собівартості внаслідок виконання додаткових операцій на коштовному обладнанні;
- збільшення тривалості та підвищення трудомісткості процесу обробки.

Тому в сучасних умовах машинобудування намагаються на чистових операціях обмежитися лише класичною лезовою обробкою – точінням і фрезеруванням.

Для обробки плоских поверхонь існує велика кількість альтернативних рішень, пов'язаних із застосуванням торцевих фрез із регулювальними пластинами (картриджами). Але у більшості таких рішень є суттєвий недолік – складне і тривале налаштування всіх пластин в один рівень, а також невелика функціональна глибина 0,1 мм шару матеріалу, що знімається, за один прохід, що зі збільшенням припуску призводить до збільшення кількості проходів та, відповідно, до збільшення часу обробки. У результаті на деяких підприємствах повертаються до шліфування. Для підвищення продуктивності на операціях фінішної обробки південнокорейська компанія TaeguTec розробила та має у своєму арсеналі унікальне рішення у вигляді торцевих фрез CHASE4FINISH (рис. 7.11), які дозволяють досягати високого класу шорсткості на плоских поверхнях.

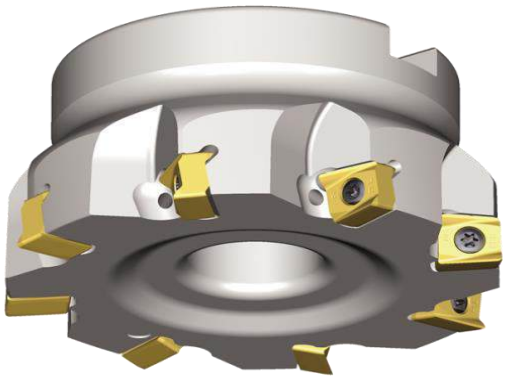


Рисунок 7.11 – Торцева фреза CHASE4FINISH

Ці фрези оснащені чистовими шліфованими ріжучими пластинами 4WHU 1207 із твердого сплаву (зі зносостійким покриттям) і кермету, розташованими на корпусі з нерівномірним кроком і різною висотою, кожна з яких зрізає свій "оптимальний" шар металу. Дані конструктивні особливості дозволяють збільшити товщину шару металу, що видаляється, до 0,5 мм за один прохід без втрати якості поверхні деталі.

Конструкція фрез нового покоління CHASE4FINISH виключає зазначені вище недоліки завдяки унікальному запатентованому розташуванню пластин (рис. 7.12).

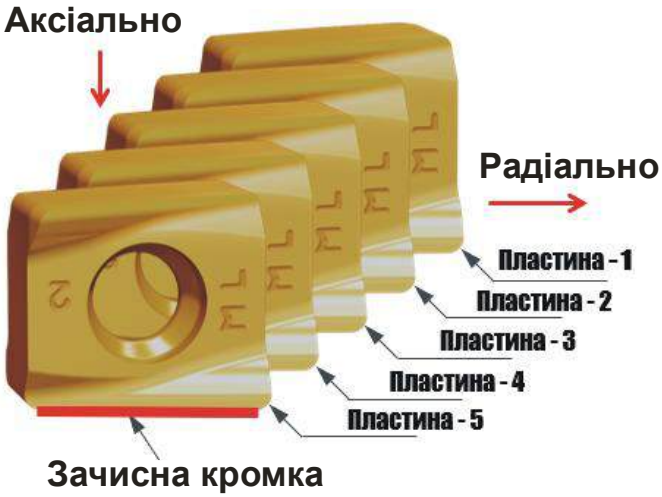


Рисунок 7.12 – Розташування пластин на корпусі фрези

У даному випадку відсутній механізм регулювання: тільки корпус фрези, пластини та кріпильні гвинти. Особливістю конструкції цих фрез є те, що остаточний шар металу знімає лише одна ріжуча пластина.

На одному із машинобудівних підприємств вирішували завдання чистової обробки площини роз'єму (прилягання) двох половин великогабаритних деталей "Апарат напрямний". Оброблюваний матеріал – сталь для виливків нелегована 20Л. Ці деталі "незручні" і складнозастосовні на операції шліфування. Для вирішення завдання було підібрано торцеву фрезу діаметром Ø100 мм із пластинами із кермету. Завдяки впровадженню цього інструменту досягнуто стабільно шорсткість оброблюваної поверхні в межах Ra = 0,3 … 0,6 мкм (рис.7.13).



Рисунок 7.13 – Обробка великогабаритної деталі "Апарат напрямний"

Запропонований інструмент випробовували на горизонтально-розточувальному верстаті на режимах: швидкість різання V = 140 м/хв, подача столу F = 350 м/хв за глибиною за прохід Ap = 0,2 … 0,3 мм.

3. Суміщення процесів токарної обробки та операції шліфування.

Найбільш розповсюдженими вимогами до поверхонь, що використовують у посадках під підшипники, є значення параметра шорсткості поверхні на рівні Ra = 0,8 мкм та Ra = 1,2 мкм. Як правило, для досягнення таких вимог використовують операцію шліфування. Але на деяких операціях, можливе використання твердосплавних пластин із Wiper геометрією. Ця стружколамаюча геометрія має незвичну форму ріжучої кромки, що загладжує ті нерівності, які залишилися після обробки чорновою пластиною [62, 91].

Для порівняння проведено аналіз результатів дослідів під час обробки деталі "втулка". Вимоги до оброблюваної поверхні – параметр шорсткості поверхні Ra = 0,8 мкм. У діючій технології було задіяно операцію шліфування, а під час впровадження твердосплавної плас-

тини і сучасного обладнання таких результатів досягли вже із під пластини. На рис. 7.14 показано, наскільки погіршується шорсткість поверхні із підвищенням подачі на пластину із стандартною чистовою стружколамаючою геометрією та на пластину із геометрією Wiper.

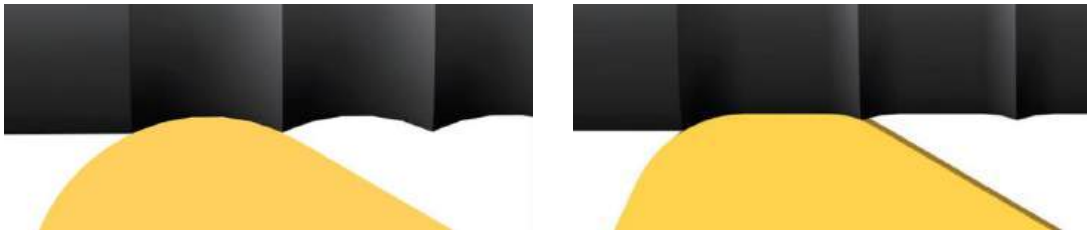


Рисунок 7.14 – Шорсткість поверхні під час обробки пластиною із стандартною чистовою стружколамаючою геометрію та пластиною із геометрією Wiper

У результаті можна розраховувати як на збільшення продуктивності на чистових операціях в 2 – 3 рази, так і на скорочення задіяного обладнання в цілому. Окрім невеликих деталей, ця концепція задіяна і на великих деталях, таких як залізнична вісь – на операції проточки посадкових місць під буксу.

4. Зменшення розмірів ріжучих пластин.

Постійне зростання цін на сировину спровокувало фахівців компанії TaeguTec піти на такий крок – розробити інструмент із задіянням меншої кількості сировини, але не знижуючи технічні характеристики ріжучого інструменту [91]. Так з'явилась серія інструменту – Rhino, що стала дуже впізнаваною і затребуваною на ринку України (рис. 7.15). Тому важливою тенденцією в металообробці є зміна конфігурації пластин – зменшення розмірів пластини для того, щоб зменшити собівартість продукту.

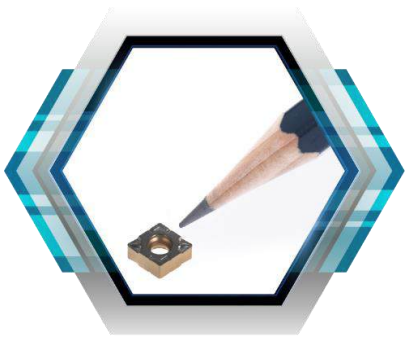


Рисунок 7.15 – Серія інструменту Rhino

У той же час, зменшення розмірів фрезерних пластин дає змогу на корпус фрези встановити більше ріжучих кромок та, відповідно, забезпечити більш продуктивну обробку, значно збільшуючи подачу на зуб. Власне це і досягається – на діаметрі кінцевої фрези Ø12 мм можна встановити 3 ріжучі твердосплавні пластини (рис. 7.16).

Пластини CNMG



1204 0904 **0703**

Пластини WNMG



0804 0604 **0403**

Рисунок 7.16 – Загальний вигляд пластин CNMG та пластин WNMG

Раніше, на чистових операціях під час токарної обробки часто використовували пластину із довжиною ріжучої кромки 15 мм, причому, глибина різання становила 0,5 мм на сторону. Зараз для таких задач використовують пластини вдвічі менше та із 4 ріжучими кромками.

5. Подача змащувально-охолоджувальної рідини у зону різання під високим тиском.

Під час обробки на високих швидкостях, а саме це вимагає сучасний інструмент, в зоні обробки виникає велика температура, що негативно впливає як на деталь, так і на ріжучі пластини. Стандартна помпа змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) на верстатах із ЧПУ іноді не є достатньою для повноцінного охолодження процесу різання. Тому велику увагу виробники інструменту приділяють подачі ЗОР без-

посередньо у зону різання під високим тиском для того, щоб охолоджувати ріжучу кромку, оскільки із подачею ЗОР від 20 бар це допомагає дробити стружку під час обробки нержавіючих і жароміцних сплавів (рис. 7.17).

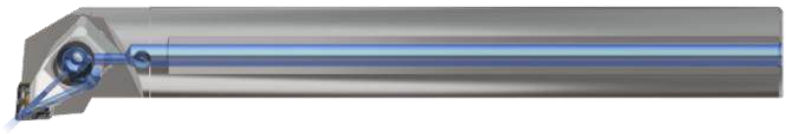


Рисунок 7.17 – Конструкція ріжучого інструменту, що реалізує подачу ЗОР у зону різання під високим тиском

Окрім цього, є можливість збільшувати швидкість різання, збільшуючи продуктивність та якість поверхні. Зараз ЗОР за схемою, наведеною на рис. 7.17, вже подається у зону різання під високим тиском за всіма типами ріжучого лезового інструменту.

6.Кріогенна обробка – нове слово в авіаційній промисловості.

Механічна обробка супроводжується виділенням тепла. Цей небажаний побічний ефект викликає багато проблем у машинобудівників. Зрозуміло, що видалення його із процесу обробки призводить до поліпшення багатьох показників: скорочення часу обробки, збільшення стійкості інструменту і підвищення якості обробленої деталі. Неможливо, навіть теоретично, уявити перспективи поліпшення процесу різання, якщо вдасться зменшити температуру до –196 °С у зоні обробки. Але з упевненістю можна сказати, що результат був би приголомшливим. Тому такі ефекти є областю вивчення теорії кріогенної обробки. Але як справи на практиці? Розглянемо результати спільної роботи DOOSAN, компанії 5ME®Cryogenics та кінцевого замовника – із метою покращення процесу виготовлення деталей для комерційного літакобудування із використанням кріогенної техніки (рис. 7.18).

Як оброблювані матеріали застосовували тверді метали: титан (6AL4V), нержавіючу сталь (15-5 PH) та інші сплави. Встановлено, що обробка деталей із застосуванням кріогенної технології дозволила значно зменшити час циклу: деякі показники скоротилися майже на 50 %. Швидкість знімання матеріалу зросла приблизно вдвічі порівняно із обробкою за умови подачі звичайної охолоджуваної рідини поливом у зону різання. Крім того, використання кріогенної технології забезпе-

чило 30 % економію на купівлі охолоджуваної рідини (враховувалася ціна охолоджуючої рідини, включаючи вартість її утилізації).

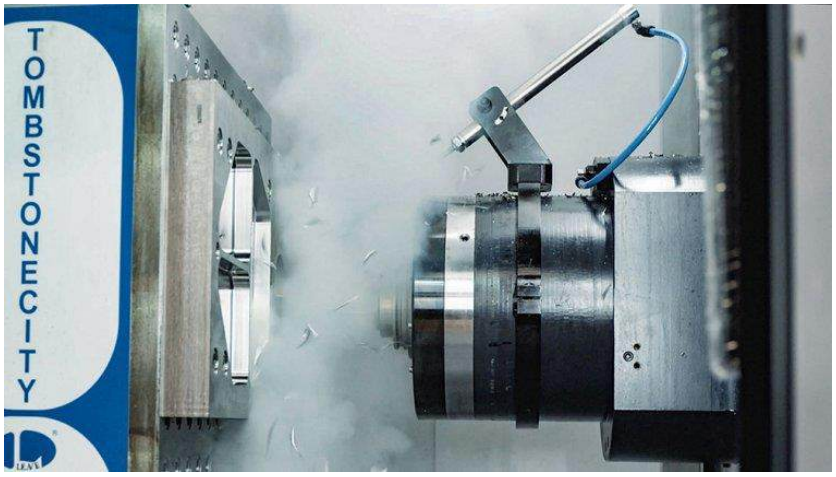


Рисунок 7.18 – Кріогенна обробка

Незважаючи на те, що термін служби інструменту залишився постійним на рівні 60 хвилин (галузевий стандарт), використання кріогенної технології дозволило здійснювати обробку деталі у 2 – 2,5 рази швидше. Тому стійкість інструменту із розрахунку обробки однієї деталі (об'єм віддаленого матеріалу за одиницю часу) збільшилася у 2 – 2,5 рази. Це призвело до більш ніж дворазової економії на закупівлі інструменту за збереженням обсягу виробництва цих виробів. Відповідно, підвищення продуктивності обробки дозволило зменшити всі виробничі витрати на цій ділянці, зменшити собівартість виробів, прискорити поставки для замовників та збільшити обсяг замовлень.

7.3. Industry 4.0: розумний інструмент для розумного виробництва

Виробництво виробів, що відповідають сучасним запитам суспільства: побутової техніки, сільгоспобладнання, економічних та надійних літальних апаратів, автомобілів та морських суден тощо постійно вимагає нових матеріалів, які мають покращені властивості. Ці матеріали повинні бути міцними, недорогими, теплостійкими, зносостійкими та стійкими до агресивних середовищ. Це, у свою чергу, стимулює провідних світових верстатобудівників удосконалювати обладнання, щоб обробляти вироби із необхідною потужністю, необхідною кінематикою та

максимально можливою універсальністю. Але в цьому процесі між інноваційним матеріалом та верстатом завжди знаходиться ще один важливий елемент конструкції – інструмент. Наскільки він ефективний, наскільки підходить саме для обробки даної деталі з даного матеріалу, для даного процесу та даного виробництва?

Це питання завжди хвилює технолога підприємства та вимагає правильного вибору інструменту для виконання нового завдання замовника.

Незважаючи на те, що можливості програм, які значно зросли для тривимірного моделювання інструменту, а також конструкторсько-технологічних систем CAD/CAM, дозволяють досягати значних результатів, пропонуючи інноваційні конструкції державок і нові форми ріжучих пластин для обробки екзотичних матеріалів, все ж недостатньо застосовувати тільки традиційні методи розроблення ріжучого інструменту, спрямовані на досягнення кращої продуктивності та надійності. Наприклад, у сучасних літаках значно збільшилася кількість деталей, виготовлених із композиційних матеріалів. А для їхньої ефективної механічної обробки потрібен спеціальний ріжучий інструмент із новими властивостями. Це є ключовим моментом для технологічного стрибка в аерокосмічній промисловості.

Сьогодні металообробні підприємства ставлять виробникам ріжучого інструменту інші завдання, ніж навіть 5 – 10 років тому. У цифрову епоху замовник чекає від них постійної участі не тільки у фізичному, а й у віртуальному виробництві, а отже – зручної інформації, необхідної фахівцям клієнта для моделювання процесів, для інтеграції складання інструментів та оснащення, а також для багато чого іншого, що впливає на процес підготовки виробництва [28, 33].

Сучасним менеджерам підприємств все частіше потрібні вичерпні дані щодо інструменту, необхідний доступ до різної інформації, що дозволяє створювати моделі-близнюки, виконувати інженерні та економічні розрахунки, аналізувати термін служби інструменту, виконувати негайні налагодження та автоматичні заміни. Розроблення ріжучого інструменту на основі всієї бази знань та компетенцій, а також оцифрування у форматах, зручних як для його споживача, так і виробника обладнання, стає вимогою часу.

У цьому полягає основна особливість процесу розвитку ріжучого інструменту відповідно до концепції Industry 4.0, завдання якої у галузі

промислового виробництва полягає у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем. Локомотивом у цьому процесі, як завжди, є найбільші світові компанії із виробництва металорізального інструменту. А лідерами в інноваціях можна назвати: ISCAR (Ізраїль), TaeguTec (Південна Корея) та Tungaloy (Японія).

Завдання Industry 4.0. у галузі промислового виробництва полягають у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем (CPS). При цьому все обладнання, інструмент, оснащення, матеріали оснащуються датчиками зворотного зв'язку та/або засобами ідентифікації, які формують загальну базу даних щодо своїх властивостей, положення, стану тощо та можуть обмінюватися один з одним інформацією й переміщуватися згідно складеному алгоритму, без втручання людини, для того, щоб виготовити продукцію певної якості та у заданій кількості.

У таких умовах дуже важливо, щоб процес вибору інструменту був швидким, простим та зручним для фахівців. Ось із цього і починається "Індустрія 4.0" для інструменту! Тобто його весь час має супроводжувати інформація, на кожному етапі життєвого циклу. А для цього виробники ріжучого інструменту все інтенсивніше оцифровують процеси розроблення та виробництва, щоб контролювати та покращувати якість, збільшувати надійність і передбачуваність терміну служби інструменту. При цьому на перший план виходить завдання розроблення такого інструменту, який "уміє спілкуватися" із іншими пристроями за допомогою технологій IT, мовою, єдиною для всіх засобів виробництва, на основі єдиних специфікацій, стандартів, баз даних. Тобто для ріжучого інструменту повинен створюватися цифровий двійник, який буде носієм всієї необхідної інформації виробникам щодо нього.

Наприклад, якщо зараз машинобудівні підприємства використовують у своїй роботі сучасні CAD/CAM-системи, то цифровий двійник інструменту має бути інтегрований у них для того, щоб допомогти у виборі інструменту для певних завдань. При цьому може бути завантажений великий обсяг інформації щодо його геометричних параметрів, режимів різання, оброблюваних матеріалів, досвід експлуатації тощо. Крім того, вся інформація повинна бути постійно оновлюваною. Дане програмне забезпечення має легко встановлюватися як на комп'ютер або планшет, так і смартфон. Це відкриває інструменту "двері" у виробництво, бо без цього він уже просто стоятиме, як сувенір на полиці.

7.4. Розроблення методики розрахунку оптимальних режимів високошвидкісного різання твердосплавними інструментами зі зносостійкими покриттями за критерієм найменшої собівартості обробки

Створення високопродуктивних технологічних процесів лезової обробки, що забезпечують зменшення собівартості обробки до економічно прийнятного рівня, достатнього для ефективного застосування сучасних високообертових верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" і коштовних збірних конструкцій твердосплавних інструментів зарубіжного виробництва на машинобудівних підприємствах України, є актуальною науково-практичною проблемою. Тому розроблено методику розрахунку оптимальних режимів різання та стійкості твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями за критерієм найменшої собівартості обробки для умов високошвидкісного різання. На її основі проведено оцінювання економічної ефективності та надано практичні рекомендації щодо застосування збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операції фрезерування деталей із важкооброблюваного матеріалу (сталь Х2ГСНВМ-ВД) збірної фрезою ∅42 мм (оснащеною пластинами із твердого сплаву ТТ9030 зі зносостійким покриттям) замість вітчизняної монолітної фрези ∅40 мм, виготовленої із швидкорізальної сталі Р18. Це дозволило до 10 разів підвищити продуктивність обробки та приблизно у стільки ж разів зменшити собівартість обробки. На основі розробленої методики також проведено вибір раціональних параметрів операцій механічної високошвидкісної обробки на операції точіння заготовок із сталі різцями, оснащеними ріжучими пластинами із твердих сплавів ТТ8115, ТТ8125 і ТТ8135 зі зносостійким покриттям. Показано, що у цьому випадку швидкість різання може бути збільшена до 500 м/хв, а стійкість інструменту рекомендується встановлювати в межах 15 хв, що дозволяє домогтися суттєвого збільшення продуктивності обробки [27].

Встановлено, що сплав ТТ7505 ефективно використовувати для високошвидкісної обробки чавуну, а міцний сплав ТТ8080 – для обробки нержавіючих і жароміцних сплавів південнокорейського виробництва. Для обробки композиційних матеріалів рекомендується використовувати фрезерні пластини із сплаву PCD (полікристалічний алмаз), кін-

цеві твердосплавні фрези і свердла із алмазним покриттям. Такі інструментальні рішення задовольняють унікальним умовам різання важкооброблюваних матеріалів, оскільки об'єднують переваги спеціального сплаву, видозміненої геометрії ріжучої кромки і високих термохімічних властивостей алмазного покриття.

Експериментально встановлено, що застосування сучасних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операціях точіння, розточування, фрезерування і свердління деталей гідравлічних систем (плунжера, п'яти, втулки сферичної) дозволило в середньому в 3 – 5 разів підвищити продуктивність і зменшити собівартість обробки із забезпеченням необхідних показників якості оброблюваних поверхонь.

Встановлено, що токарно-фрезерні обробні центри серії PUMA SMX компанії "DOOSAN Infracore Machine Tools" – це нове покоління багатофункціональних обробних верстатів, які відрізняються високою продуктивністю, точністю та простотою в експлуатації, надають можливість використання кращих рішень в класі багатофункціонального обладнання. Токарно-фрезерні центри серії SMX є світовим лідером в своєму класі й забезпечують високі показники високоточної обробки завдяки застосування системи мінімізації термічної деформації, заснованої на функціях температурної компенсації в процесі високошвидкісного різання.

Встановлено, що конфігурація твердосплавних кінцевих фрез RCFE TaeguTec із алмазним покриттям для обробки вуглепластиків, також як і фрез RRFE-типу, виключає розшарування, знижує зусилля різання та вібрації, забезпечує високу продуктивність інструменту під час чорнової обробки. Важливою особливістю RCFE-фрез є декілька каналів для відведення стружки, що дозволяє працювати на підвищених режимах. Для чистової обробки композитів рекомендується використовувати твердосплавну кінцеву фрезу серії RCOM (компанії TaeguTec) із алмазним покриттям, яка виключає розшарування, запобігає утворенню задирок. Вона представлена у 2-х конфігураціях: із лівим і правим напрямом спіралей канавок. Для високопродуктивної обробки композитів рекомендується використовувати ріжучі тверді сплави компанії TaeguTec, що дозволяють забезпечити найвищу стійкість інструменту. Так, інноваційний PCD-сплав TD830, виготовлений із ультрадрібної алмазної фракції, показує високу зносостійкість, міцність та

якість кромки, характеризується винятковою стійкістю до абразивного зношування та значною термічною стабільністю.

Для обробки волокнистих вуглепластиків рекомендується новий сплав TTD610. Завдяки передовій технології нанесення наноалмазного покриття, цей сплав забезпечує неперевершену стійкість інструменту та високу стабільність обробки, відрізняється високою абразивною зносостійкістю (твердість більше 8000 за Віккерсом), забезпечує високі показники теплопровідності та ударної стійкості.

Для механічної обробки прес-форм і штампів, коли доводиться фрезерувати тонкостінні заготовки із різних за оброблюваністю матеріалів, пропонується високопродуктивна серія фрез і пластин ChaseFeed, які можна застосовувати і для чорнових операцій. Застосування наведених практичних рекомендацій в діяльності Технічного Центру "ВаріУс" (м. Дніпро) дозволило підвищити ефективність розроблення технологічних процесів обробки деталей машин, виготовлених із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями, на основі застосування високошвидкісного різання на різних технологічних операціях механічної обробки.

7.5. Інноваційні технології обробки матеріалів

Електрохімічні та *електрофізичні методи обробки*, удосконалюючись та об'єднуючись у складніші технології, сприяють реалізації нових технічних рішень. Вони ґрунтуються на використанні сфокусованих променів різних видів енергії високої щільності. Процеси згруповано за фізичними ознаками та включають лазерні, електроерозійні, електронно-променеві, ультразвукові процеси [114, 115].

Крім того, роль цих процесів зростає в міру залучення у виробництво нових більш твердих та зносостійких матеріалів, які важко обробляти традиційними способами. Процеси легше піддаються автоматизації, що дозволяє їх використовувати у технологіях вищого рівня.

Так, зараз розробляють гнучкі переналагоджувальні модулі для гнучких автоматизованих виробництв, в яких принципи подібної обробки матеріалів у поєднанні з мікропроцесорним управлінням і автоматизацією зміни електродів-інструментів можуть забезпечити суттєвий економічний ефект. Безпека процесів та їх екологічна чистота значною мірою сприяють поширенню цих технологій.

Лазер (оптичний квантовий генератор) є джерелом потужного монохроматичного світлового випромінювання. Пристрій лазера здатний фокусувати промінь світлової та електромагнітної енергії до таких розмірів, які забезпечують концентрацію великих кількостей енергії в мікрообсязі (рис. 7.19). Чітко спрямована дія такого променя може бути короткочасною, тобто у вигляді імпульсів, що тривають частки секунди або безперервно. Робочими тілами в лазерних пристроях можуть бути монокристали рубіну, гази (суміш вуглекислого газу з азотом), напівпровідники та рідини. У технологічних процесах переважно використовують найбільш потужні твердотільні або газові лазери [31].



Рисунок 7.19 – Лазерна металообробка

Накопичений досвід лазерної технології та результати вітчизняних і зарубіжних досліджень у цій галузі показують, що з найбільш перспективних напрямів розвитку лазерної технології виділяється, насам-

перед, удосконалення розвитку розмірної обробки. Передбачається підвищення якості та точності одержання прецизійних отворів малих діаметрів зі збільшенням продуктивності обробки, а також забезпечення високопродуктивного якісного різання сталевих та інших металевих матеріалів товщиною до 15 мм, композиційних і керамічних матеріалів. За допомогою лазерів успішно отримують отвори діаметром менше 1 мм, особливо в надтвердих або важкооброблюваних матеріалах, за умови розташування отворів під кутом до оброблюваної поверхні, тобто отворів, які звичайним свердлінням отримати важко. Так, за допомогою лазерного випромінювання можна виготовити отвори діаметром 0,03 – 3 мм і товщиною декілька міліметрів із продуктивністю до 60 отворів за хвилину. Отвори виготовляють у твердих сплавах, кераміці, годинникових камнях, алмазах тощо. Похибка розмірів отворів не перевищує ± 0,01 мм. Переміщаючи оброблювану деталь та використовуючи потужні газові лазери безперервної дії, можна вирізати контур деталі у листі металу товщиною 10 – 20 мм. Різання матеріалів здійснюють із щільністю потужного лазерного випромінювання 10^5 – 10^7 Вт/см^2 для металів і 10^2 – 10^5 Вт/см^2 для деяких неметалевих матеріалів.

Низький коефіцієнт поглинання світла поверхнями металів вимагає застосування лазерного випромінювання із малою довжиною хвилі (1,06 – 1,3 мкм) або спеціальної підготовки поверхні хімічним шляхом або чорнінням, наприклад, графітом. Крім того, під час різання металів лазерним випромінюванням можна подавати повітря або кисень, які активізують окислення металів, а отже, і поглинання лазерного променя і сприяють видаленню розплаву із стінок різу. Процес газолазерного різання із застосуванням кисню подібний до газокисневого різання, в якому екзотермічна хімічна реакція використовується також як додаткове джерело теплової енергії. Лазерний промінь, маючи високу концентрацію енергії та малу площу плями нагріву, забезпечує малу ширину різу та зони термічної дії (0,05 – 0,2 мм). Ширина різу близька до діаметра плями нагріву у фокальній площині, а швидкість різання, яка залежить від потужності лазера, теплофізичних властивостей матеріалу та товщини заготовки, може перевершувати всі інші способи, що застосовують в промисловості.

Найбільшого ефекту досягають під час лазерного різання коштовних матеріалів: жароміцних і нержавіючих сталей, титанових та інших сплавів, оскільки при цьому можна суттєво зменшити втрати ма-

теріалів, а застосування лазерних установок із програмним управлінням (особливо в умовах серійного виробництва) сприяє значному підвищенню продуктивності праці.

Другим прикладом лазерної обробки є *лазерне зварювання*. За характером впливу випромінювання на матеріал лазерне зварювання може бути імпульсним і безперервним (рис. 7.20).

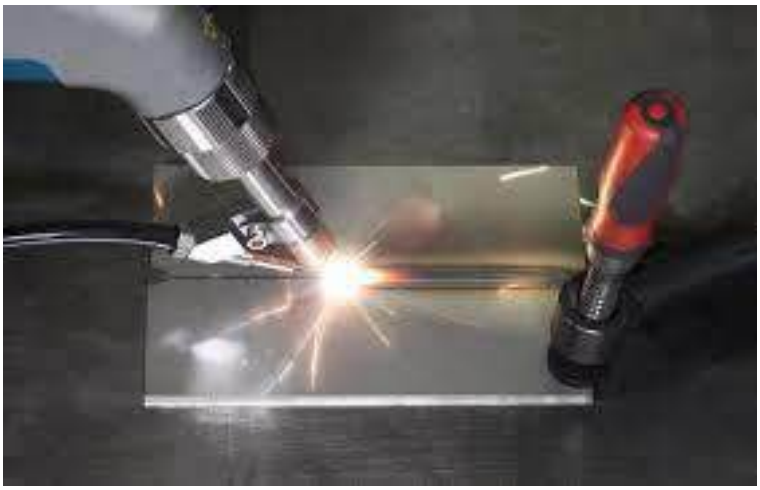


Рисунок 7.20 – Лазерне зварювання

Лазерне зварювання виявилося ефективним для з'єднання сталевої спіральної пружини (волоска) у колодці осі балансу годинникового механізму замість механічного кріплення. Завдяки малій тривалості імпульсу випромінювання в малій зоні термічного впливу можна отримати якісне з'єднання та підвищити точність відліку часу годинника. Лазерне зварювання дозволяє отримувати шви глибиною від декількох міліметрів до десятих часток міліметра.

До нових достатньо перспективних напрямів використання лазерної технології відносять різні види зміцнення поверхневих шарів матеріалів із метою підвищення їхньої зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик.

Застосовуючи імпульсне або безперервне випромінювання із певною потужністю та різними швидкостями сканування променя за заданою траєкторією, можна керувати макро- та мікротопографією поверхні, напружено-деформованим станом поверхневого шару матеріалу, механічними та іншими характеристиками зони термічної дії.

Під час лазерного випромінювання високолегованої інструментальної сталі значно підвищується мікротвердість та зменшується вплив

залишкового напруження. Досвід показує, що застосування лазерного зміцнення сталевих напрямних різних машин, великогабаритних протягувань дозволяє значно підвищити їх стійкість. Стійкість вирубних штампів, фасонних різців, фрез і довбаків підвищується в 2 – 4 рази.

Лазери широко використовують у металообробці; у термообробці та під час нанесення тонких плівок на поверхню будь-яких матеріалів; для активації хімічних реакцій; для голографічного записування інформації; у волоконно-оптичних лініях зв'язку; для виміру відстаней; у мікрохірургії ока; у космонавтиці; у наукових дослідженнях та інших сферах діяльності людини.

У міру вдосконалення технологічного обладнання впроваджуватимуться лазери для зварювання металів великої товщини, різкого підвищення швидкості різання, використання лазерів у металургії, в обробці кам'яних матеріалів під час буріння свердловин нафто- та газовидобутку, під час прокладання штоль у важкодоступних шахтах тощо.

Застосування лазера дозволило в десятки разів підвищити продуктивність порівняно із традиційними електрофізичними методами та більш ніж у 100 разів порівняно із механічними методами. Лазерне загартування дозволяє обробляти деталі складної форми та виключає негативну дію на деталь. У той же час під лазерною термообробкою розуміють не тільки поверхневе загартування, а й легування металів, поверхневе очищення, виготовлення аморфних структур, що мають високу магнітну проникність та корозійну стійкість, усунення дефектів у поверхневому шарі деталей.

Електрохімічна обробка. Новий технологічний метод електрохімічного високошвидкісного прецизійного формоутворення ґрунтується на високошвидкісному анодному розчиненні та катодному осадженні металів. Він є ефективним методом виготовлення деталей із поверхнями складної форми, що дозволяє забезпечити високі вимоги щодо точності (0,01 – 0,03 мм) та шорсткості поверхні (R_a = 0,2 − 0,6 мкм) [69].

Особливості цього методу – забезпечення надійного, керованого процесу електрохімічного розчинення із малим міжелектродним зазором (на рівні 0,01 – 0,03 мм) завдяки оптимальної траєкторії руху електрода-інструменту щодо деталі, використання імпульсного струму спеціальної форми, електролітів із високою локалізуючою здатністю, безконтактних адаптивних методів стабілізації стану та величини міжелектродного зазору (рис. 7.21).

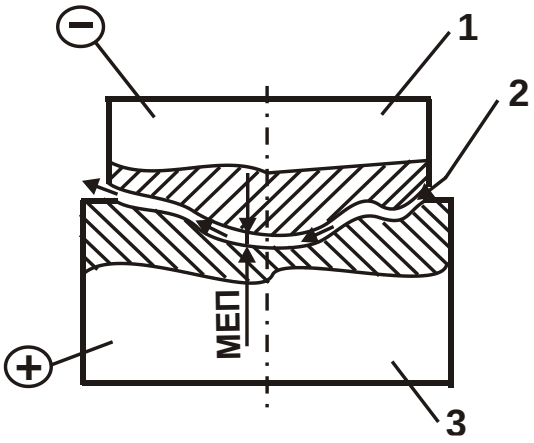


Рисунок 7.21 – Електрохімічна розмірна обробка: 1 – електрод-інструмент; 2 – напрям потоку електроліту; 3 – електрод-заготовка; МЕП – міжелектродний проміжок

Електроерозійна обробка. Цей метод обробки застосовують для всіх струмопровідних матеріалів. Він заснований на явищі ерозії (руйнування) поверхні струмопровідних електродів від розрядів під час пропущення між ними імпульсного електричного струму. Руйнування матеріалу відбувається через його локальне оплавлення і викид розплавленого матеріалу у вигляді пароріднинної суміші. Усі види електроерозійної обробки здійснюють в рідинному середовищі – гасі, нафтовій олії, дистильованій воді.

Під час проходження іскрового розряду в рідині починається бурхливе газоутворення, у результаті чого рідина ніби вибухає, що сприяє видаленню продуктів ерозії з робочої зони. Крім того, робоча рідина перешкоджає окисленню поверхні оброблюваного матеріалу.

Основними різновидами електроерозійних методів є електроіскрова та анодно-механічна обробка.

Електроіскрова обробка широко застосовується в інструментальному виробництві під час виготовлення штампів, ливарних форм та прес-форм, а також в основному виробництві під час розмірної обробки заготовок деталей складних профілів із струмопровідних важкооброблюваних матеріалів (рис. 7.22 [69]). Із її допомогою можна отримувати наскрізні та глухі отвори різної конфігурації, криволінійні щілини та пази, вирізати складний контур, таврувати деталі, видаляти із заготовок зламаний інструмент. Обробку профільним електродом застосовують для отримання наскрізних та глухих отворів із різною формою поперечного перетину.

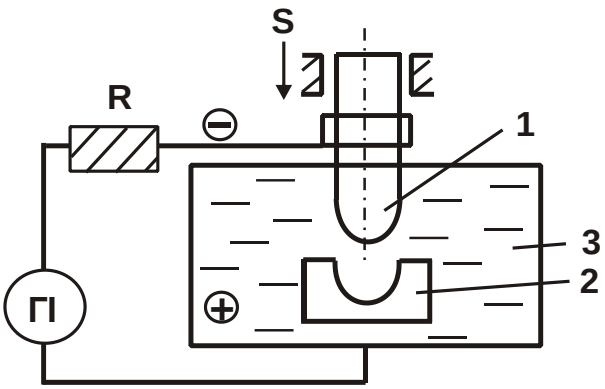


Рисунок 7.22 – Схема електроіскрової обробки:
1 – електрод-інструмент; 2 – оброблювана деталь;
3 – рідке середовище, яке не проводить електричний струм
(трансформаторне масло);
ГІ – генератор імпульсів; R – опір; S – подача

Крім електроерозійної прошивки отворів малого діаметра, отримало розвиток високоефективне ерозійне різання дротяним електродом (як непрофільний електрод використовують дріт).

Під час різання дротяним електродом-інструментом забезпечують мікросекундні розрядні імпульси, коли видалення матеріалу відбувається в перегрітому і пароподібному стані. Причому неприпустиме нагрівання рідини в робочій зоні вище критичної температури, за якої процес різання стає нездійсненним і настає обрив дротяного електрода-інструмента. Як непрофільний електрод використовують дріт.

Електроіскровий процес застосовують і для зміцнення поверхонь різних металів і сплавів, найчастіше штампової оснастки. На відміну від розмірної електроіскрової обробки при цьому анодом є електрод-інструмент, із поверхні якого матеріал переноситься на оброблювану заготовку-катод. Сутність методу полягає у тому, що за умови зближення інструмента із деталлю між ними виникає іскровий електричний розряд, який оплавляє матеріал анода. На першій стадії цього методу крапля розплавленого металу розігрівається до високої температури і метал анода у вигляді дрібних частинок прямує до катода. Досягши катода, розплавлені частки зварюються із ним. На наступній стадії через розжарену ділянку катода проходить другий імпульс струму. Цей імпульс супроводжується механічним ударом анода із катодом, за яким відбувається зварювання металу анода із поверхнею катода, і цей

процес супроводжується хімічними реакціями, дифузійними явищами, характерними для кування.

Як матеріал анода використовують тверді сплави різних марок для зміцнення ріжучого інструменту (різців, фрез, свердел, ножів тощо) – ферохром і графіт. Витрати цих матеріалів невеликі.

Електронно-променева обробка полягає у використанні енергії електронів (що розпускаються розжареним катодом), прискорених і сфокусованих у пучок. Під час зіткнення електронів із оброблюваним матеріалом кінетична енергія перетворюється на теплову. Концентрація потужності досягає 1 МВт/см^2 за загальної потужності до десятка кіловат.

Обробку електронним променем, зазвичай, здійснюють у вакуумі.

Електронно-променеву обробку використовують для розмірної обробки матеріалів, а також для зварювання (рис. 7.23).

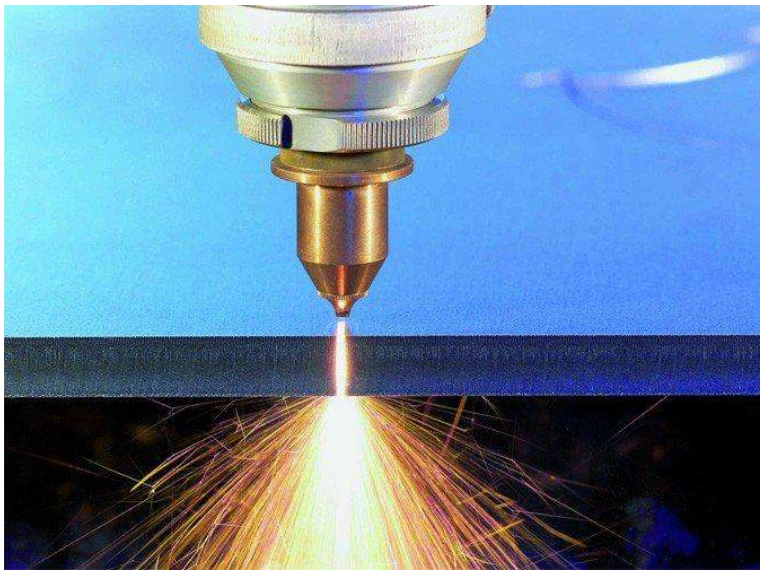


Рисунок 7.23 – Електронно-променеве зварювання

Електронний промінь використовується в мікроелектроніці під час вакуумного напилювання тонких плівок тугоплавких матеріалів, під час обробки матеріалів із електронною полімеризацією (електрон-резисторів).

Ультразвукова обробка – це пружні механічні коливання із частотою понад 20 кГц, які не сприймаються вухом людини. Найбільш короткі ультразвукові хвилі мають довжину відповідно до хвиль видимого світла. Ультразвукові хвилі, як і світлові, відбиваються від перешкод, їх можна фокусувати тощо.

За допомогою ультразвуку досягається інтенсифікація багатьох технологічних процесів. Ультразвукові коливання, які отримують за допомогою електронних пристроїв, знаходять широке застосування в процесах паяння та зварювання деталей, очищення поверхонь від забруднень, під час обробки діелектричних матеріалів.

Сутність ультразвукової розмірної обробки полягає в тому, що між інструментом, з'єднаним із випромінювачем, і заготовкою вводиться абразивний матеріал, що діє на оброблювану поверхню. Як абразивні зерна застосовують алмаз, корунд, наждак, кварцовий пісок, карбід бору, карбід кремнію тощо.

В основі отримання ультразвукових коливань лежить явище магнітострикції – зміни лінійних розмірів ряду матеріалів у магнітному полі. Ефект магнітострикції досягається у нікеля, залізонікелевих сплавів (пермендюр), залізоалюмінієвих сплавів (альфер), феритів.

Магнітострикційний сердечник 1 (рис. 7.24,а) періодично змінює свою довжину (на 2 – 10 мкм) за наявності змінного електромагнітного поля, яке наводиться за допомогою генератора 6. Резонансний хвилевід 2 припаюють до торця сердечника для збільшення амплітуди коливань (до 10 – 60 мкм) та концентрації енергії.

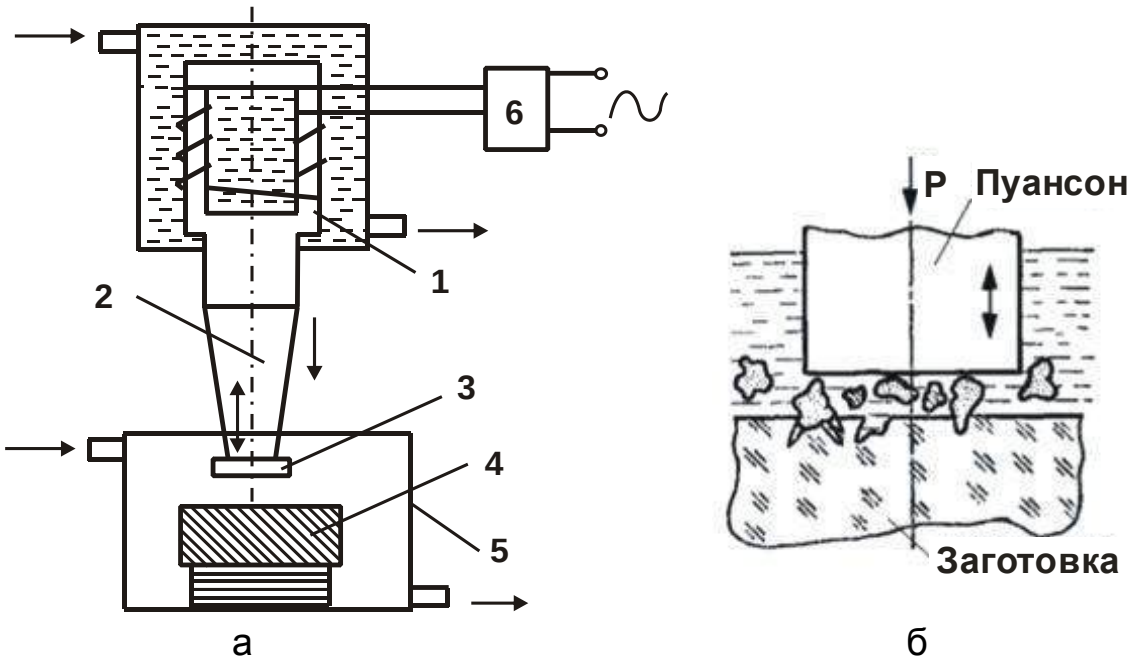


Рисунок 7.24 – Принципова схема ультразвукової обробки (а) і схема руйнування оброблюваного матеріалу під час ультразвукової обробки (б)

Через осердя 1 (рис. 7.24,а) прокачують воду для охолодження (нагрів на гістерезис, вихрові струми). Під пуансоном 3 поміщають заготовку 4. Обробку здійснюють у ванні 5, заповненої абразивною суспензією (абразивними зернами у воді).

Припуск із поверхні заготовки 2 знімають абразивні зерна, які отримують енергію від удару пуансоном 1 (рис. 7.24,б).

У рідині відбуваються кавітаційні процеси (утворення бульбашок у результаті розрядження, їх ліквідація та удар під час стиску), які сприяють перемішування абразивних зерен під інструментом та більш інтенсивному руйнуванню матеріалу заготівки. Інструмент підтискають до заготівки із невеликим зусиллям P (до 60 Н).

Ультразвуком можна обробляти і хрупкі матеріали (скло, кераміку, кварц, кремній, германій тощо), і жароміцні тверді (загартовані та азотовані сталі, тверді сплави), що застосовуються, зокрема, для виготовлення металоріжучого інструменту. Якість ультразвукового очищення незрівнянно вище за інших способів. Наприклад, під час очищення деталей різними органічними розчинниками на поверхні залишається до 80 % забруднень, під час вібраційного очищення – близько 55 %, а під час ультразвукового – трохи більше 0,5 % (рис. 7.25).



Рисунок 7.25 – Ультразвукова обробка металевого виробу

Використовувані у промисловості джерела ультразвуку можна поділити на дві групи: механічні та електромеханічні.

Із механічних джерел ультразвуку найбільше застосування отримали динамічні (сирени) та статичні (свисток). Сирени мають статор із отворами та ротор у вигляді перфорованого диска. Під час подачі в

корпус сирени пари, газу або стисненого повітря обертається ротор, періодично закриваючи і відкриваючи отвір статора, створюючи механічні коливання. Сирени широко застосовують, наприклад, для осадження туману сірчаної кислоти та дрібнодисперсної сажі у процесі їх виробництва. Поряд із перевагами, ультразвуковий метод має й недоліки: порівняно невелику площу і глибину обробки, велику енергоємність, невисоку продуктивність процесу та інтенсивне зношування застосовуваного інструменту.

На етапі розвитку промислового виробництва широке застосування отримали і комбіновані методи обробки, де поєднуються процеси фізико-хімічної дії на оброблюваний матеріал із процесом різання. Під час здійснення комбінованих методів значно підвищується продуктивність і точність обробки, у ряді випадків збільшується стійкість інструменту. Можливе підвищення міцності, зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик оброблених деталей. Одним із ефективних способів інтенсифікації процесу різання важкооброблюваних матеріалів є поєднання процесів електроерозійної дії електричного струму на матеріал шару, що зрізається, та інструмент із процесом різання.

Так, під час фінішної абразивної обробки деталей із твердих сплавів, магнітних твердих матеріалів, ряду високолегованих сталей, вольфраму, молібдену тощо гостро виявляються недоліки застосування традиційного шліфування: нестабільність ріжучих властивостей абразивного круга під час обробки внаслідок його засалювання і затуплення абразивних зерен та високої швидкості зношування круга зі зміною його розмірів (рис. 7.26).

Поліпшити процес шліфування дозволяє розроблений у Харківському політехнічному інституті спосіб *алмазно-іскрового шліфування*, в якому процес мікрорізання алмазними зернами або зернами із нітриду бору поєднується із процесом електроіскрової дії на оброблюваний матеріал і металеву зв'язку круга (рис. 7.27) [4]. У цьому способі застосовують алмазні або кубонітові круги на металевій зв'язці, що мають високу розмірну стійкість. Для їх правлення в процесі шліфування в зону обробки вводиться електричний струм. При цьому відбувається регульоване електроерозійне руйнування металевої зв'язки із одночасним видаленням стружки, що налипає на зерна та металеву зв'язку, руйнування стружки в межах зони обробки, що полегшує її видалення. У результаті досягається підвищення продуктивності і якості обробки.



Рисунок 7.26 – Схема здійснення процесу шліфування

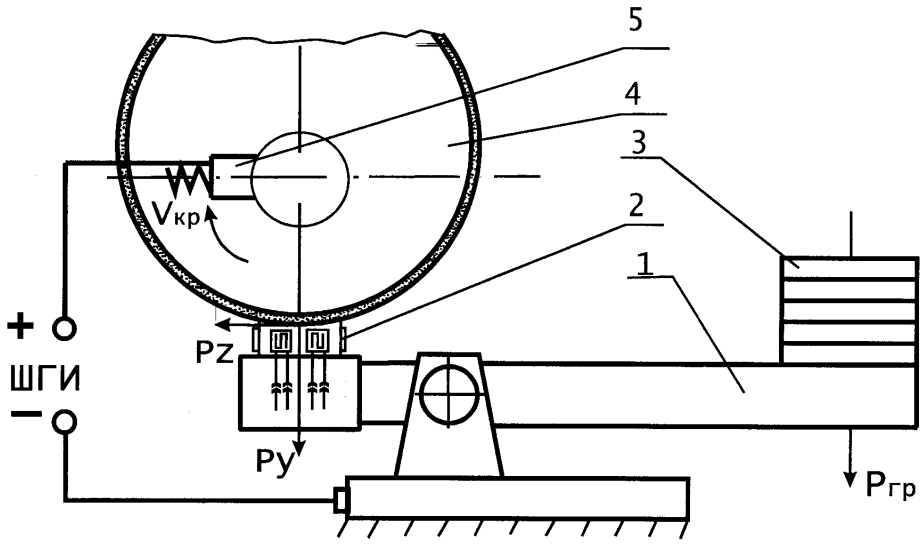


Рисунок 7.27 – Схема експериментальної установки для алмазно-іскрового шліфування та визначення складових сили різання P_z і P_y:
1 – балка; 2 – тензометричні датчики; 3 – вантаж;
4 – алмазний круг; 5 – токопідвідний пристрій

Залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, типу металевої зв'язки, зернистості та інших характеристик алмазного круга, а також вимог до шорсткості обробленої поверхні, необхідно спрямовано змінювати інтенсивність електричної дії (рис. 7.28). Бажано домогтися, щоб процес розкриття нових ріжучих зерен протікав залежно від їх затуплення, чим забезпечується стабільність ріжучих

властивостей круга аж до повного зношування, але без передчасного випадання алмазних зерен. Електроіскрові розряди не впливають на струмопровідні зерна, тому їх ріжучі грані не руйнуються іскрою. Опускання металевої зв'язки алмазного круга щодо вершин ріжучих зерен сприяє значному зменшенню втрати енергії на тертя та створює додатковий вільний об'єм для розміщення стружки. Внаслідок цього ріжучі властивості алмазного круга за цими умовами шліфування в 1,5 – 2,2 рази вище, ніж під час шліфування із механічним правленням алмазного круга [1, 8, 67, 105].

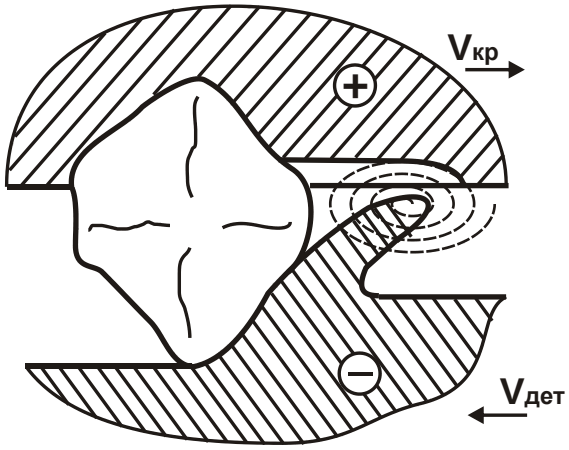


Рисунок 7.28 – Схема електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга ($V_{кр}$ – швидкість круга; $V_{дет}$ – швидкість деталі)

Використання електроерозійного процесу під час шліфування важкообробних матеріалів є прикладом ефективного застосування комбінованого методу обробки, оскільки дозволяє успішно вирішувати складні технологічні завдання, підвищувати якість обробки, розширювати можливості шліфувальних верстатів та полегшувати їхню автоматизацію.

Важливе значення у сучасній технології машинобудування займають інноваційні технології комбінованої обробки матеріалів, наприклад, плазмово-механічна обробка, за якою висока концентрація тепла створюється плазмовою дугою для нагрівання поверхневого шару металу із подальшою лезовою обробкою нагрітого шару металу зменшеної міцності. Частина металу, що підлягає зрізуванню, розплавляється. Таким чином, сутність даної технології полягає в обробці різанням матеріалів, попередньо розміцнених струменем плазми із плазмотрона, закріпленого в зоні різця. Під час такого розміцнення оброблюваної

поверхні деталі навантаження на різець знижується майже вдвічі, а стійкість різця підвищується в декілька разів. Застосування цієї технології під час точіння деталей із високомарганцевих сталей та інших важкооброблюваних матеріалів дозволяє зменшити глибину та ступінь наклепування поверхневого шару, а також величину залишкового напруження. Це сприяє підвищенню в декілька разів продуктивності під час чистового точіння та отримання покращених характеристик поверхневого шару відповідальних заготовок.

Обробку великогабаритних виробів із високоміцних листових сталей в умовах переривчастого різання рекомендується здійснювати фрезеруванням із нагріванням зрізуваного шару плазмовим струменем. Отже, електромеханічні методи обробки важкооброблюваних матеріалів дозволяють підвищити продуктивність праці, стійкість інструменту та якість оброблюваної поверхні.

Для високопродуктивної обробки отворів із високою точністю в Інституті надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України розроблено комбінований метод на основі електрофізикохімічних процесів. Обробка здійснюється у два переходи. Спочатку отвори отримують алмазно-електролітичним свердлінням, а потім ці отвори доводять полікристалічним катодом під час здійснення алмазно-електролітичного процесу на більш м'якому режимі. Обидва переходи виконують одним інструментом із однієї установки заготовки. Цей комбінований метод отримання отворів застосовується для деталей штампів, пресформ, волок та інших виробів із металокерамічних твердих сплавів, легованих сталей і спеціальних сплавів.

Ефективні технології заготівельного виробництва. Значні резерви щодо скорочення відходів під час обробки металів та сплавів забезпечують перехід від обробки різанням до обробки тиском [60, 81, 90]. Наприклад, застосування деталей прокатних станів для виготовлення валів, осей, зубчастих коліс, втулок, кілець та інших подібних деталей дозволяє скоротити витрати матеріалів та знизити відходи до 2 – 3 % замість 27 – 28 % під час обробки різанням. Так, перспективним способом виготовлення труб великого діаметру, валів та інших виробів із важкодеформованих матеріалів є електрогідравлічне штампування. При цьому заготовку встановлюють між деформуючими матрицями в замкнутому об'ємі рідини, де відбувається високовольтний розряд, ударна хвиля забезпечує необхідну конфігурацію деталі.

Під час переведення прокату чорних металів із обробки різанням на обробку тиском забезпечується економія 25 % металопрокату. Крім економії, методи обробки тиском позитивно впливають на властивості одержуваних виробів. Наприклад, на станах поперечно-клинової прокатки із пруткових заготовок можна отримувати вироби складної форми, які точно не відрізняються від отриманих на токарних автоматах. При цьому досягає дуже високих значень коефіцієнт використання металу, підвищується якість виробів.

Формоутворення деталей методами *порошкової металургії* також сприяє цьому рішенню та відрізняється високою техніко-економічною ефективністю і відіграє величезну роль у науково-технічному прогресі. Ці методи дозволяють отримувати матеріали із особливими фізико-хімічними, механічними та технологічними властивостями, які не можна одержати традиційними методами.

Технологічний процес отримання виробів складається із таких операцій: одержання металевих порошків (рис. 7.29), формування виробів, спікання та подальша обробка. Вироби формують у спеціальних прес-формах у холодному стані: гідростатичним методом обтиснення металевого порошку із усіх боків рідиною; мундштучним пресуванням – видавлюванням через мундштук суміші порошку із пластифікатором або прокаткою металевих порошків, за якою одержують спресовану стрічку, що піддається подальшому спіканню. Таким способом отримують втулки, шестірні, поршневі кільця та багато інших деталей із композиційних порошкових матеріалів (заліза – міді, металоскла, бронзографіту тощо). При цьому можна використовувати всі відходи, які забезпечують економічний ефект завдяки зниженню витрат в 5 разів та зниженню собівартості в 2 рази [69].



Рисунок 7.29 – Газорозпилені порошки жароміцних сплавів на нікелевій основі

Методами порошкової металургії одержують (рис. 7.30):

- тверді сплави для виготовлення ріжучого, бурового, волочильного інструменту, а також деталей, що зазнають інтенсивного зношування;
- високопористий матеріал для виготовлення фільтрів, які використовують для очищення рідин від твердих включень, повітря та газу, пилу тощо;
- антифрикційні матеріали для виробництва підшипників ковзання, втулок, вкладишів та інших деталей, що працюють у важких умовах експлуатації;
- фрикційні матеріали для отримання деталей вузлів тертя, зчеплення та гальмівних систем машин;
- жароміцні та жаростійкі матеріали для виготовлення виробів, які працюють в умовах високих температур та в сильно агресивних газових середовищах;
- матеріали складних з'єднань (псевдосплавів) для виготовлення електричних контактів, які отримати іншими способами неможливо;
- магнітні матеріали для виготовлення постійних магнітів, феритів тощо.



Рисунок 7.30 – Вироби, виготовлені методами порошкової металургії

Основні напрями у створенні нових матеріалів. Із розвитком машинобудування виникає необхідність у створенні нових матеріалів, які мають підвищену зносостійкість і ударну в'язкість, мають одночасно

м'яку і тверду поверхні, а також контактні поверхні із заданими властивостями та певними активними ділянками.

Розроблення нових матеріалів займає багато часу і коштів та економічно не завжди виправдано. Ці та багато інших питань можна вирішити за допомогою нових напрямів термічної та хіміко-термічної обробки металів. Змінити активність поверхні, продовжити термін служби, змінити механічні, технологічні та експлуатаційні характеристики деталей можна вже сьогодні без особливих витрат.

Імпульсні технології. Значні переваги мають технології, які використовують висококонцентровані силові дії за допомогою пристроїв та способів, а також використання цілеспрямованих методів керування напружено-деформованим станом оброблюваних заготовок на всіх етапах їх деформування, для здійснення складних ремонтних робіт у стислих умовах (футерування внутрішніх поверхонь судин та труб), у різних середовищах, під час ліквідації аварій або для їх запобігання.

Області застосування імпульсних технологій:

- розділові процеси: різання холодних і гарячих металів великого перетину (наприклад, розрізання злитків під час безперервного розливання сталі та прокату), розрізання профілів, у тому числі сортових, а також безвідходне різання;
- деформуючі процеси: листове та об'ємне штампування, брикетування сипучих матеріалів;
- клепально-складальні процеси: клепка, карбування, розвальцювання, пробивання отворів, обтискання кінців електричних кабелів тощо.

Магнітно-імпульсна обробка матеріалів. У результаті сильного імпульсного електромагнітного поля у металі виникають специфічні структурно-фазові перетворення, що приводять до зміни його фізичних властивостей, усунення дефектів у кристалічній решітці, стабілізації внутрішніх напруг виробу. Завдяки цьому підвищується міцність і зносостійкість високонавантажених відповідальних виробів та інструментів, які застосовують у різних галузях промисловості. Оброблюваними матеріалами можуть бути сталі, кольорові метали і сплави (титан, бронза, дюралюміній), тверді сплави. Областю застосування магнітно-імпульсної обробки є вироби та інструмент, які працюють в умовах високих навантажень, у тому числі ударних, та із підвищеним абразивним зно-

шуванням, що застосовуються у машинобудівній, деревообробній, лісовій, сільськогосподарській, харчовій та інших галузях.

Магнітно-імпульсні машини (пристрої) мають можливість автоматизації технологічних процесів завдяки своїй сумісності із засобами автоматичного керування. Стримуючими чинниками під час їх застосування є використання високих електричних напруг у поєднанні із коштовними масивними і великогабаритними приводами, низький коефіцієнт корисної дії, складності системи управління, наявність шкідливих магнітних полів, що вимагає захисту операторів.

Пневмогідравлічні машини (пристрої) зручні в експлуатації завдяки використанню стисненого повітря, мають високу питому енергоозброєність, стабільність енергії ударів. Однак конструкції таких машин вимагають якісного виготовлення застосовуваних механізмів, герметизації високих тисків робочого середовища. Вони мають обмежену продуктивність і вимагають використання додаткових приводів (наприклад, гідростанцій, мультиплікаторів).

Позитивними особливостями конструкцій пневмомеханічних імпульсних машин є те, що механічна система забезпечує їхню швидкодію, виключення повторних ударів. Це особливо важливо для процесів високоякісного об'ємного деформування, оскільки підвищує якість штампування і стійкість штампування.

Пневматичні імпульсні машини (пристрої), як і пневмогідравлічні, зручні в екологічному відношенні завдяки використанню стисненого повітря заводської пневмосистеми, прості в конструктивному відношенні завдяки високій продуктивності. Їх недоліками є обмеженість енергії удару (низька питома енергоозброєність), недостатня стабільність енергії ударів.

Імпульсна клепка, ручні імпульсні (одноударні) клепальні молотки можуть замінити багатоударні пневматичні, що традиційно застосовуються, оскільки мають ряд переваг [110]:

- зниження вібраційних захворювань клепальників завдяки покращенню санітарно-гігієнічних та екологічних умов праці;
- підвищення продуктивності праці;
- підвищення якості та ресурсу з'єднань;
- гарантована стабільність якості та можливість прогнозування ресурсу з'єднань;

- виконання з'єднань клепальниками низької кваліфікації, що не потребує навиків та досвіду в роботі;
- простота та зручність в експлуатації та обслуговуванні.

Імпульсні клепальні пристрої (молотки) можуть бути порохової, пневмогідравлічної, магнітно-імпульсної або пневматичної дії.

Таким чином, різноманітність імпульсних технологій, їх важливі переваги указують на доцільність як створення спеціалізованих виробництв (критерії – техніка безпеки, випуск конкурентоспроможної продукції, велика програма тощо), так й інтенсивніше інтегрування імпульсних процесів у діючі виробництва (критерії – мобільність, можливість локального деформування деталей для надання їм спеціальних властивостей і покращення якості).

Обробка металів вибухом

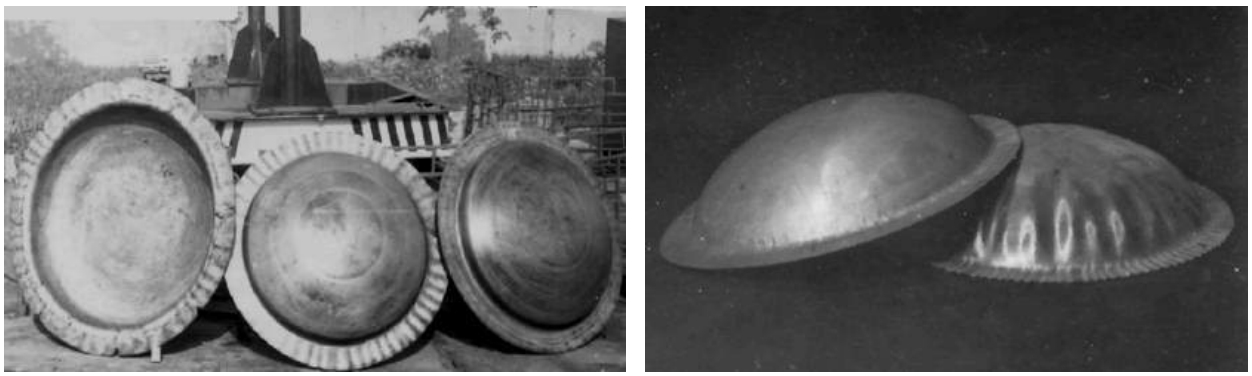
У створенні та розробленні імпульсних методів металообробки суттєву роль відіграли роботи видатного вченого, відомого у всьому світі, професора Харківського авіаційного інституту (ХАІ), доктора технічних наук Ростислава В'ячеславовича Піхтовнікова – засновника наукової школи обробки металів вибухом [102].

У період інтенсивного освоєння космосу, створення нових конструкцій літальних апаратів і двигунів, використання нових матеріалів вибухове штампування стає практично єдиною технологією виготовлення високоточних великогабаритних деталей із нових високоміцних матеріалів, що важко деформуються, необхідних для створення зразків нової техніки за мінімальних термінів підготовки виробництва.

Перевагами високошвидкісної обробки металів із використанням імпульсних навантажень під час листового штампування, у тому числі й під час штампування тонкостінних деталей складної форми в плані, є: підвищена точність у процесі обробки на порівняно простій і недорогій оснастці; підвищення механічних властивостей після штампування (збільшення межі міцності деяких металів майже на 50 % та збільшення межі текучості ряду сталей під час стискання майже на 300 %); підвищене зміцнення порівняно із холодною прокаткою за однакового ступеня деформації. При цьому можливість регулювання в широких межах параметрів зовнішнього навантаження під час виготовлення деталей із більшості важкодеформованих матеріалів досягається значно простіше і економічно вигідніше, ніж для традиційних і більш капіталомістких методів металообробки. У ряді випадків безпресові методи

стають безальтернативними, оскільки використання інших методів або економічно невигідне, або фізично неможливе.

Відмінною рисою високошвидкісних імпульсних способів штампування (найчастіше гідровибухового, газодетонаційного, електро-гідравлічного, магніто-імпульсного, а також із використанням енергії зріджених газів) є і те, що під час їх застосування відпадає необхідність у спеціальному великогабаритному пресовому обладнанні. Важливим також є й те, що технологічне оснащення конструктивно значно простіше і менш дороге, оскільки для здійснення штампування необхідна лише матриця або пуансон, а роль відповідної частини штампу, зокрема, відіграє передавальне середовище, в якому здійснюється імпульсна дія (вибух, електричний розряд рідини тощо) і через яку енергія вибуху у вигляді ударної хвилі діє на заготовку, деформуючи її за формою інструменту (пуансона або матриці). Такий технологічний процес універсальний і для його здійснення не потрібна тривала підготовка виробництва. Тому високошвидкісні високоенергетичні способи поза конкуренцією для штампування особливо складних деталей, виготовлення яких іншими методами, насамперед в умовах дослідного та дрібносерійного виробництва, неможливе або недоцільне. Прикладом може бути розроблений спосіб імпульсного штампування із використанням енергії вибуху, тонкостінних виробів (із гнучкістю більше 200) та великих габаритів, більших за 1 м, із мінімальними витратами ресурсів (метод штампування зі штучним регулюванням зон двохвісного розтягування). На рис. 7.31 показано деталі, виготовлені за даним способом.



а б

Рисунок 7.31 – Деталі діаметром 700 і 900 мм (а)
та дослідні зразки (б), що виготовлені методом штампування
за схемою роздачі напівфабрикату

Для підвищення безпеки вибухових робіт запропоновано ефективну технологію штампування багатоімпульсними вибуховими навантаженнями, що здійснюють одночасно і відповідно із переміщеннями заготовки.

Штампування вибухом можна здійснювати і в спеціальних установках [88, 102], які являють собою підземні або наземні басейни, обладнані підйомно-транспортними засобами, вакуумними установками та відповідною апаратурою управління і контролю. Стінки басейнів (вертикальні та похилі) бетонують і облицьовують листовою сталлю. Таким чином, серед імпульсних технологій найбільшу перевагу у 70-х роках минулого століття надавали вибуховій обробці металів із використанням енергоносіїв – бризантних вибухових речовин (БВВ), що було викликано інтенсивним розвитком космічних технологій, затребуваністю нових високоміцних матеріалів.

Запитання для самостійного контролю

1. Назвіть пріоритетні напрями технологічного розвитку.
2. Наведіть приклади прогресивних технологій, які набули розвитку у другій половині XX століття.
3. Поясніть сутність інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення виробу або його прототипу Rapid Prototyping (RP).
4. Назвіть способи матеріалізації 3D CAD-моделей.
5. У чому сутність способу стереолітографії (SL)?
6. Чим відрізняється металорізальний верстат із ЧПУ типу "обробний центр" від традиційних металорізальних верстатів із ЧПУ?
7. Завдяки яких чинників досягають високу ефективність обробки на металорізальному верстаті із ЧПУ типу "обробний центр"?
8. Для чого призначено зносостійкі покриття, які наносять на робочі поверхні ріжучих інструментів?
9. У чому полягає ефективність застосування високошвидкісної механічної обробки на металорізальних верстатах із ЧПУ типу "обробний центр"?
10. Обґрунтуйте показники результатів впровадження нових високопродуктивних ріжучих інструментів на АТ "Гідросила" та ДП "ХМЗ" ФЕД.
11. Що означає модернізація виробничого підприємства та її практичне значення?

12. Наведіть приклади ефективного впровадження компанією "ВаріУс" (м. Дніпро) на виробничих підприємствах верстатів із числовим програмним управлінням та сучасних металоріжучих інструментів.

13. Які закордонні верстатоінструментальні компанії активно співпрацюють із виробничими підприємствами України? Назвіть моделі сучасних металорізальних верстатів із числовим програмним управлінням, які ефективно застосовують на виробничих підприємствах міста Харкова.

14. Завдяки яким чинникам можна знизити термін окупності придбаного технологічного обладнання?

15. У чому полягає ефект застосування сучасного зубошліфувального верстата із числовим програмним управлінням, який працює за прогресивним методом профільного копіювання?

16. Назвіть сучасні механічні та фізико-технічні методи обробки в технології машинобудування.

17. Чим відрізняється алмазно-іскрове шліфування від алмазного шліфування?

18. Які переваги мають комбіновані технологічні системи?

19. Назвіть сфери ефективного застосування технології плазменно-механічної обробки металів.

20. Чим відрізняється технологія плазменно-механічної обробки металів від технології анодно-механічної обробки металів ?

21. Обгрунтуйте сутність і сферу застосування електроерозійної обробки.

22. Назвіть переваги та недоліки застосування електрохімічної обробки.

23. У чому полягає ефективність застосування лазерних технологічних систем?

24. Сутність технології ультразвукової обробки.

25. Сутність порошкової металургія та ефективність її застосування.

26. Імпульсні технології та їхнє промислове застосування.

27. Що таке "пневматичні імпульсні машини"?

28. Сутність та ефективність імпульсного клепання.

29. Сутність обробки металів вибухом та області її застосування.

Література: [1, 4, 7 – 9, 11 – 14, 23, 27, 28, 31 – 34, 58 – 60, 62, 65, 67 – 69, 71, 80, 81, 86, 88, 90 – 94, 96, 98, 100, 102, 103, 105, 110, 114, 115].

Розділ 8. Основні положення фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування

8.1. Теоретичні основи визначення умов підвищення точності механічної обробки

8.1.1. Аналітичне визначення сили різання та умови її зменшення

Із усього різноманіття технологій обробки матеріалів, заснованих на використанні різних видів енергії, основними вважаються механічні технології обробки матеріалів різанням, які характеризуються найменшою енергоємністю і найбільшою продуктивністю обробки та забезпечують високі показники якості й точності оброблюваних поверхонь. Процеси різання матеріалів набули широкого застосування у виробництві та у найближчі роки не втратять своєї значимості [49, 50, 67, 68, 92, 106 – 108]. Це пов'язано, в першу чергу, із широким застосування сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" та ріжучих лезових твердосплавних і керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями. Тому їхній подальший розвиток має велике наукове і практичне значення.

Для виявлення та обґрунтування нових технологічних можливостей процесу різання розроблено математичну модель визначення складових сили різання під час лезової обробки (точінні), у результаті чого отримано аналітичні залежності для розрахунку тангенціальної P_z і радіальної P_y складових сили різання та умовного напруження різання σ:

$$P_z = \frac{a \cdot в \cdot \sigma_{ст}}{K_{різ}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right); \qquad (8.1)$$

$$P_y = \frac{a \cdot в \cdot \sigma_{ст}}{K_{різ}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right); \qquad (8.2)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{ст}}{K_{різ}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right), \qquad (8.3)$$

де а, в – товщина і ширина зрізу, м;

$\sigma_{ст}$ – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, Н/м^2;

$К_{різ} = P_z / P_y$ – коефіцієнт різання.

Із залежностей (8.1) і (8.2) витікає, що за умови $К_{різ} = 1$ складові сили різання P_z і P_y дорівнюють одна одної, а за умов $К_{різ} < 1$ і $К_{різ} > 1$ справедливі, відповідно, умови $P_z < P_y$ і $P_z > P_y$. Як відомо, умова $К_{різ} < 1$ реалізується під час абразивної обробки, а умова $К_{різ} > 1$ – під час лезової обробки. Отже, під час абразивної обробки найбільше впливає на технологічні параметри процесу радіальна P_y складова сили різання, а під час лезової обробки – тангенціальна P_z складова сили різання. При цьому складові сили різання під час лезової обробки ($К_{різ} > 1$) менше, ніж під час абразивної обробки ($К_{різ} < 1$), що обумовлено меншими значеннями умовного напруження різання σ, яке за умови $К_{різ} \to \infty$ прагне прийняти значення $\sigma_{ст}$ (рис. 8.1). У цьому випадку умови стружкоутворення відповідають умовам руйнування прямолінійного зразка під час його стиску.

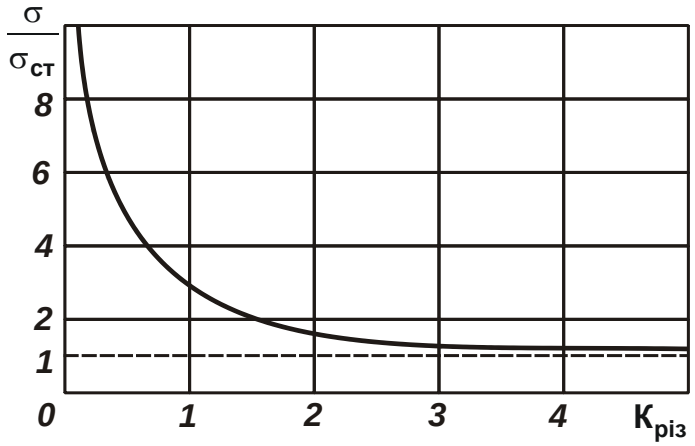


Рисунок 8.1 – Залежність відношення $\sigma / \sigma_{ст}$ від $К_{різ}$

Параметри $К_{різ}$, P_z, P_y і σ можна виразити через кут дії $\omega = \psi - \gamma$:

$$К_{різ} = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma) = \frac{1 + f \cdot \operatorname{tg}\gamma}{f - \operatorname{tg}\gamma}; \qquad (8.4)$$

$$P_y = а \cdot в \cdot \sigma_{ст} \cdot \operatorname{tg}(\psi - \gamma) \cdot \left[\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(\psi - \gamma) + 1} \right]; \qquad (8.5)$$

$$P_z = a \cdot в \cdot \sigma_{ст} \cdot \left[tg(\psi - \gamma) + \sqrt{tg^2(\psi - \gamma) + 1} \right]; \quad (8.6)$$

$$\sigma = \sigma_{ст} \cdot \left[tg(\psi - \gamma) + \sqrt{tg^2(\psi - \gamma) + 1} \right], \quad (8.7)$$

де ψ – умовний кут тертя на передній поверхні інструмента ($tg\psi = f$ – коефіцієнт тертя);

γ – передній кут інструмента.

Як витікає із наведених залежностей, лезова обробка реалізується за умови $\omega = \psi - \gamma < 45^o$, а абразивна обробка – за умови $\omega = \psi - \gamma > 45^o$ (із урахуванням негативного значення кута γ – за умови $\omega = \psi + \gamma > 45^o$).

Із залежності (8.4) витікає, що умова $К_{різ} \to \infty$ (або $\sigma \to \sigma_{ст}$) виконується для кута $\omega = \psi - \gamma \to 0$ (або за умови $f = tg\gamma$). Найбільш просто дану умову можна реалізувати під час обробки алмазним інструментом, оскільки алмаз характеризується найменшим коефіцієнтом тертя f із оброблюваним матеріалом. Цим пояснюється можливість суттєвого зменшення сили різання під час алмазного точіння, що спостерігається на практиці.

Під час шліфування ($К_{різ} < 1$), розглядаючи передній кут ріжучого зерна шліфувального круга γ негативним, залежності (8.1) – (8.3) можна спростити:

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot в \cdot \sigma_{ст}}{К_{різ}}; \quad (8.8)$$

$$P_y = \frac{2 \cdot a \cdot в \cdot \sigma_{ст}}{К^2_{різ}}; \quad (8.9)$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{ст}}{К_{різ}} = 2 \cdot \sigma_{ст} \cdot tg(\psi + \gamma). \quad (8.10)$$

За умови $(\psi + \gamma) \to 90^o$ умовне напруження різання приймає нескінченне значення $\sigma \to \infty$. У цьому випадку процес різання (стружкоутворення) не реалізується, може мати місце лише пружно-пластичне деформування оброблюваного матеріалу без утворення стружки. Отже, процес різання лезовими та абразивними інструментами можна здійснити за умови $\omega = \psi + \gamma < 90^o$.

8.1.2. Загальний підхід до визначення умов підвищення точності обробки

Використовуючи наведені в п. 8.1.1 аналітичні залежності для визначення складових сили різання, виконано розрахунок величини пружного переміщення, що виникає в технологічній системі та визначає похибки обробки. Зважаючи на те, що формування параметрів точності обробки відбувається, як правило, на операціях абразивної обробки, отримано аналітичну залежність для визначення величини пружного переміщення під час круглого поздовжнього шліфування за жорсткою схемою (рис. 8.2):

$$y = y_{стал} \cdot \left(1 - \varepsilon^{-n}\right), \qquad (8.11)$$

де $y_{стал} = \dfrac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_ш \cdot C \cdot V_{кр}}$ – стале значення пружного переміщення y, м;

$K_ш = K_{різ} = P_z / P_y$;

C – наведена жорсткість технологічної системи, Н/м;

$Q_{ном} = S \cdot V_{дет} \cdot t$ – номінальна продуктивність обробки, м^3/с;

S – поздовжня подача, м/об.;

$V_{дет}$ – швидкість обертання деталі, м/с;

t – номінальна глибина шліфування, м;

$V_{кр}$ – швидкість круга, м/с;

$\varepsilon = 1 + \dfrac{K_ш \cdot C \cdot V_{кр} \cdot t}{\sigma \cdot Q_{ном}}$ – уточнення на проході круга;

n – кількість проходів круга.

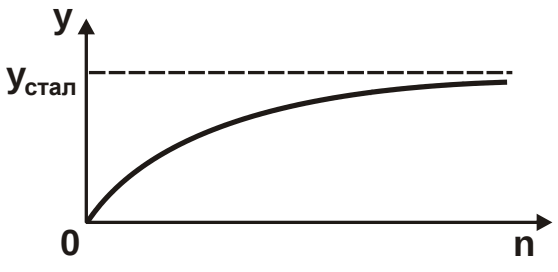


Рисунок 8.2 – Залежність y від n

Як витікає із рис. 8.2, зі збільшенням кількості проходів круга n величина пружного переміщення y збільшується, асимптотично наближаючись до сталого значення $y_{стал}$. У цьому випадку фактична глибина шліфування наближається до номінальної глибини шліфування t. Очевидно, чим більше ε, тим коротший за часом перехідний процес, протягом якого величина y досягає найбільшого значення $y_{стал}$.

Щоб виключити перехідний процес і підвищити ефективність обробки, необхідно створити в технологічній системі початковий натяг, який дорівнює величині $y_{стал}$. Тоді залежність (8.11) набуде вигляду:

$$y \approx y_{стал} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{К_ш \cdot C \cdot V_{кр}}. \qquad (8.12)$$

Зменшити величину y та, відповідно, похибку обробки без зменшення номінальної продуктивності обробки $Q_{ном}$ можна зменшенням умовного напруження різання σ та збільшенням параметрів $К_ш$, C і $V_{кр}$. Це досягається, в першу чергу, забезпеченням високої ріжучої здатності шліфувального круга, тобто зменшенням відношення $\sigma / К_ш$, що входить у залежність (8.12):

$$\frac{\sigma}{К_ш} = \frac{\sigma_р}{К_{ш.р}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{у.тр}}{P_у}\right)}, \qquad (8.13)$$

де $\sigma_р$, $К_{ш.р}$ – складові величин σ і $К_ш$, які обумовлено процесом "чистого різання" абразивними зернами круга без урахування тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом;

$P_{у.тр}$ – радіальна складова сили різання, яка обумовлена тертям зв'язки круга із оброблюваним матеріалом ($P_{у.тр} < P_у$), Н.

Із залежності (8.13) витікає, що чим більше відношення $P_{у.тр} / P_у$, тим більше відношення $\sigma / К_ш$, яке може суттєво перевищувати значення $\sigma_р / К_{ш.р}$ (рис. 8.3). Це підтверджується експериментальними даними, згідно яким відношення $\sigma / К_ш$ може до 100 разів перевищувати відношення $\sigma_р / К_{ш.р}$, наприклад, під час шліфування алмазними кругами на міцних металевих зв'язках, які в процесі шліфування втрачають ріжучу здатність. Тому, щоб зменшити відношення $\sigma / К_ш$ до значення

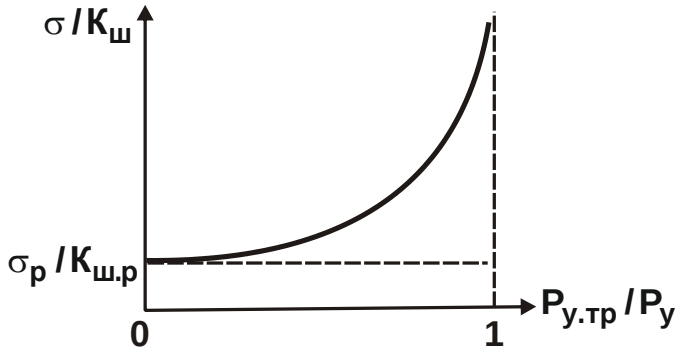


Рисунок 8.3 – Залежність $\sigma / К_ш$ від $P_{у.тр} / P_у$

$\sigma_p / К_{ш.р}$, необхідно в процесі шліфування постійно підтримувати високу ріжучу здатність круга, використовуючи ефективні методи правлення (механічні та електрофізикохімічні). Це дозволить фактично виключити тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом, а також вчасно видаляти з робочої поверхні круга затуплені зерна. Інакше, щоб зменшити величину $У$, відповідно залежності (8.12), необхідно зменшувати відношення $\sigma_p / К_{ш.р}$, що описується аналітичною залежністю:

$$\frac{\sigma_p}{К_{різ}} = \frac{\sigma_{ст}}{К^2_{різ}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + К^2_{різ}}\right) = \frac{\sigma_{ст}}{2} \cdot \left[\frac{1}{tg^2\left(45^o - \frac{\omega}{2}\right)} - 1\right]. \qquad (8.14)$$

Розраховані за залежністю (1.14) значення безрозмірної величини $\sigma_p / \sigma_{ст} \cdot К_{різ}$ наведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахункові значення безрозмірної величини $\sigma_p / \sigma_{ст} \cdot К_{різ}$

$\omega = \psi + \gamma$, град.	0	10	30	45	60	80	90
$\sigma_p / \sigma_{ст} \cdot К_{різ}$	0	0,21	1	2,56	6,5	65	∞

Як витікає із табл. 8.1, зі збільшенням кута ω відношення $\sigma_p / \sigma_{ст} \cdot К_{різ}$ необмежено збільшується. Отже, зменшити відношення $\sigma_p / \sigma_{ст} \cdot К_{різ}$ можна винятково зменшенням кута дії $\omega = \psi + \gamma$ шляхом застосування в якості абразивних матеріалів синтетичні надтверді матеріали (алмаз, ельбор тощо), які внаслідок високої гостроти ріжучих кромок і невеликих коефіцієнтів тертя із оброблюваними матеріалами дозволяють зменшити кути ψ та γ.

Розглядаючи ріжуче зерно у формі сфери радіусом R, визначено коефіцієнт $К_{ш.р}$, умовне напруження різання σ_p та $\sigma_p / К_{ш.р}$:

$$К_{ш.р} = 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{2 \cdot R}} - f; \qquad (8.15)$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{ст}}{\left(\sqrt{\frac{a}{2 \cdot R}} - \frac{f}{2}\right)}; \qquad (8.16)$$

$$\frac{\sigma_p}{К_{ш.р}} = \frac{\sigma_{ст}}{2\cdot\left(\sqrt{\frac{a}{2\cdot R}} - \frac{f}{2}\right)^2}. \qquad (8.17)$$

Як видно, відношення $\sigma_p / К_{ш.р}$ тим менше, чим більше відношення a/R і менше коефіцієнт тертя f. Виходячи із залежностей (8.16) і (8.17), за умови $\left(\sqrt{\frac{a}{2\cdot R}} - \frac{f}{2}\right) < 0$ процес різання (стружкоутворення) нездійсненний, можливий лише процес пружно-пластичного деформування оброблюваного матеріалу. У цьому випадку $\sigma_p / К_{ш.р} \to \infty$. Отже, процес різання починається зі значення $a/R > f^2/2$. Наприклад, за умови $f = 0{,}2$ граничне значення $a/R = 0{,}02$, за умови $f = 0{,}3$, відповідно, $a/R = 0{,}045$, а за умови $f = 0{,}4$ граничне значення $a/R = 0{,}08$. Це погодиться із відомими експериментальними даними.

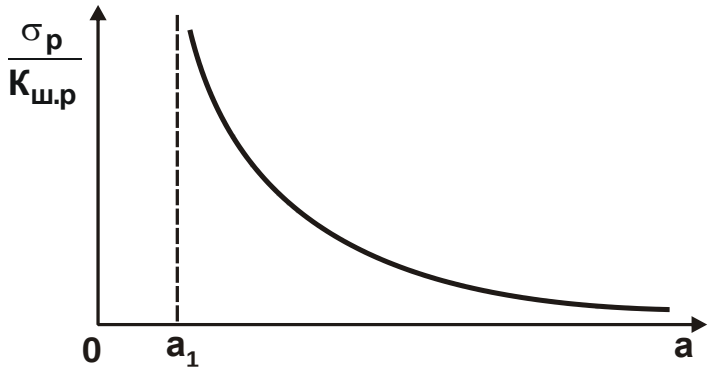


Рисунок 8.4 – Залежність $\sigma_p / К_{ш.р}$ від a

На рис. 8.4 показано характер зміни відношення $\sigma_p / К_{ш.р}$ від товщини зрізу a. Гранична товщина зрізу a_1, за якою процес пружно-пластичного деформування оброблюваного матеріалу переходить у процес різання (стружкоутворення), виходячи із залежності (8.16), визначається:

$$a_1 = 0{,}5\cdot R\cdot f^2. \qquad (8.18)$$

Таким чином, на основі проведеного аналізу показано, що домогтися високої точності обробки (як під час абразивної, так і під час лезової обробок) можна шляхом застосування високошвидкісного різання. Це витікає із перетвореної (щодо процесу точіння) залежності (8.12):

$$y = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{різ} \cdot C \cdot V}, \qquad (8.19)$$

де $Q_{ном} = S \cdot V \cdot t$ – номінальна продуктивність обробки, м^3/с;

S – подача, м/об.;

V – швидкість різання, м/с.

Як видно, зменшити величину пружного переміщення y за заданою номінальною продуктивністю обробки $Q_{ном}$ можна, в першу чергу, шляхом збільшення швидкості різання V. Сталість значення $Q_{ном}$ досягається завдяки зменшенню подачі S та глибини різання t. Із іншої сторони, збільшити $Q_{ном}$ за заданим значенням y також можна завдяки збільшенню швидкості різання V, тобто застосовуючи високошвидкісне різання.

Для більш загального подання та аналізу величини пружного переміщення y, що визначає похибку обробки, залежність (8.11) слід подати у вигляді:

$$y = B_{1_{баз}} \cdot П \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{B_{1_{баз}} \cdot n} \right)^n} \right], \qquad (8.20)$$

де $B_{1_{баз}} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр} \cdot П}$ – безрозмірний параметр;

$П$ – припуск, що знімається, м.

Отримана залежність погоджує величину пружного переміщення y із кількістю поздовжніх ходів ріжучого інструмента n за заданою номінальною продуктивністю обробки $Q_{ном}$. Розрахунками встановлено, що зі збільшенням кількості поздовжніх ходів ріжучого інструмента n величина пружного переміщення y залишається майже постійною (рис. 8.5). Отже, фактично із однаковою ефективністю (точністю і продуктивністю обробки) знімання заданого припуску $П$ можна виконувати як за один, так і за декілька проходів ріжучого інструмента, тобто схеми однопрохідної та багатопрохідної обробки в цьому випадку практично рівнозначні.

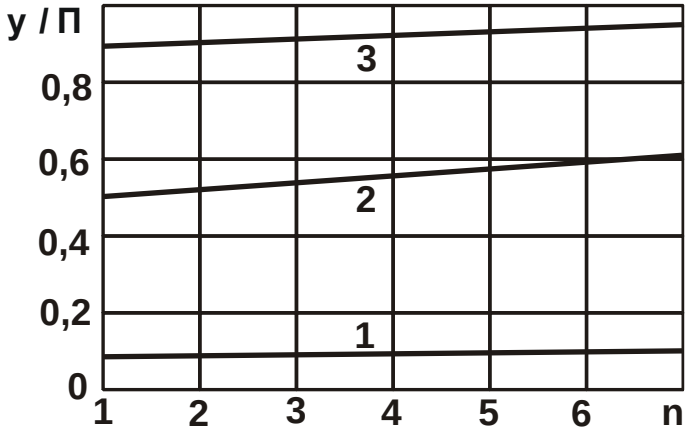


Рисунок 8.5 – Залежність величини $у/П$ від кількості проходів круга n:
$1 – В_{1баз} = 0{,}1$; $2 – В_{1баз} = 1$; $3 – В_{1баз} = 10$

Із цього витікає доцільність знімання всього припуску, наприклад, під час розточування отвору за один прохід ріжучого інструмента, а під час внутрішнього шліфування за жорсткою схемою – за декілька проходів круга (у зв'язку із більш високими значеннями відношення $\sigma/К_ш$), що погодиться із практичними даними.

8.1.3. Обґрунтування оптимального автоматизованого циклу круглого шліфування

Розглянемо цикл круглого шліфування, який здійснюється у два етапи (чорнове шліфування і виходжування), та аналітично визначимо основний час обробки τ на цих двох етапах. Потім, приймаючи обмеженням задану точність обробки, обумовлену величиною пружного переміщення $у_0$ на етапі виходжування, встановимо найменший основний час обробки циклу круглого шліфування, розглядаючи його критерієм оптимізації.

У результаті виконаних розрахунків отримано залежність для визначення основного часу обробки цього циклу круглого шліфування:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{\sigma}{С \cdot К_ш \cdot V_{кр}} \cdot \left\{ \frac{\vartheta}{у_1} + \pi \cdot D_{дет} \cdot I \cdot n_2 \cdot \left[\left(\frac{у_1}{у_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right] \right\}, \quad (8.21)$$

де τ_1, τ_2 – основний час обробки, відповідно, на етапах чорнового шліфування та виходжування, с;

y_1, y_0 – величини пружного переміщення, що виникають у технологічній системі, відповідно, на етапах чорнового шліфування та виходжування, м;

$\vartheta = \pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot П$ – об'єм металу, що знімається із оброблюваної деталі, м^3;

$D_{дет}$, l – діаметр і довжина оброблюваної деталі, м;

П – величина припуску, що знімається, м;

n_2 – кількість поздовжніх ходів круга на етапі виходжування.

Із залежності (8.21) витікає, що основний час обробки τ неоднозначно залежить від двох змінних величин y_1 і n_2. Причому, величина y_1 входить у два доданки залежності (8.21), а величина n_2 – лише в другий доданок, який визначає основний час обробки на етапі виходжування. Отже, ці дві величини – y_1 і n_2 – необхідно розглядати параметрами оптимізації (змінні величини).

Для визначення екстремального значення часу обробки τ, що визначається залежністю (8.21), слід підчинити час обробки τ необхідній умові екстремуму $\tau'_{y_1} = 0$; $\tau'_{n_2} = 0$. У результаті отримано:

$$y_{1екстр} = П^{\frac{n_2}{1+n_2}} \cdot y_0^{\frac{1}{1+n_2}}; \qquad (8.22)$$

$$\left(\frac{y_1}{y_0}\right)^{\frac{1}{n_2}} \cdot \left(1 - \frac{\ln y_1}{n_2}\right) = 1. \qquad (8.23)$$

Як показали розрахунки, другі похідні τ''_{y_1} і τ''_{n_2} у точках екстремумів позитивні. Отже, мають місце мінімуми основного часу обробки τ (рис. 8.6).

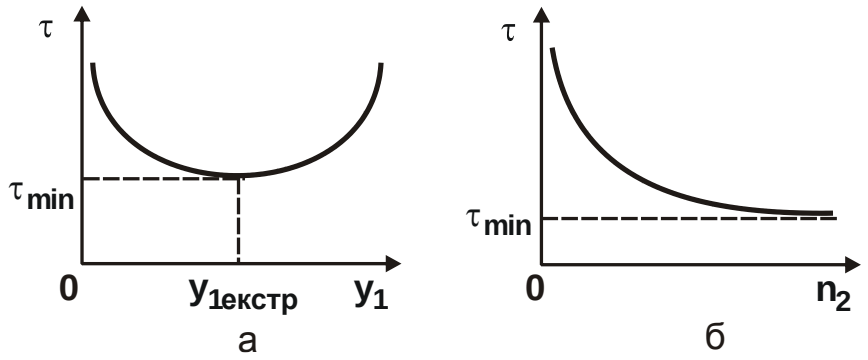


Рисунок 8.6 – Залежність часу обробки τ від y_1 (а) і n_2 (б)

Очевидно, рівняння (8.23) виконується за умови $n_2 \to \infty$. Тоді $y_{1екстр} = П$. Таким чином показано, що на етапі чорнового шліфування знімання оброблюваного матеріалу відсутнє, оскільки величина пружного переміщення, що виникає в технологічній системі, дорівнює величині припуску $П$. Знімання металу та формування заданої точності обробки відбувається на етапі виходжування. Отже, для того щоб суттєво зменшити основний час обробки на етапі чорнового шліфування, необхідно даний етап здійснювати із прискореною радіальною подачею, створюючи в технологічній системі початковий натяг, який дорівнює величині припуску $П$. У цьому випадку $\tau_1 \approx 0$, тоді мінімальний основний час обробки розглянутого циклу шліфування буде:

$$\tau_{min} \approx \tau_2 = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot \sigma \cdot n_2}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot \left[\left(\frac{П}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right]. \qquad (8.24)$$

Підкоряючи залежність (8.24) правилу Лопіталя, отримано:

$$\tau_{min} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot \sigma}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot \lim_{n_2 \to \infty} \frac{\left[\left(\frac{П}{y_0} \right)^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right]'_{n_2}}{\left(\frac{1}{n_2} \right)'_{n_2}} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot \sigma}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot \ln \left(\frac{П}{y_0} \right). \qquad (8.25)$$

Як видно, у залежності (8.24) переважає множник, укладений у квадратні дужки. Зі збільшенням n_2 це приводить до зменшення основного часу обробки τ_{min}. Збільшення $n_2 \to \infty$ припускає збільшення швидкості обертання деталі $V_{дет} \to \infty$. Очевидно, у реальних умовах шліфування збільшення $V_{дет} \to \infty$ обмежено технічними можливостями круглошліфувального верстата. Тому параметр n_2 буде приймати не нескінченні, а кінцеві значення. Це указує на недовикористання технологічних можливостей процесу круглого зовнішнього шліфування, оскільки основний час обробки τ_{min} буде приймати значення, відповідно, більші значень, розрахованих за залежністю (8.25).

Швидкість поздовжньої подачі $S_м$ (м/с) на етапі виходжування визначається:

$$S_м = V_{дет} \cdot \frac{S}{\pi \cdot D_{дет}}, \qquad (8.26)$$

де S – поздовжня подача, м/об.

Отже, збільшити швидкість поздовжньої подачі $S_м$ можна встановленням максимально можливих значень швидкості обертання деталі $V_{дет}$ і поздовжньої подачі S.

Із залежності (8.25) витікає, що зменшити основний час обробки τ_{min} можна зменшенням параметрів $D_{дет}$, I, $П$, σ і збільшенням C, $К_ш$, $V_{кр}$, y_0. Зважаючи на те, що змінними параметрами є σ та $К_ш$, зменшити основний час обробки τ_{min} можна, головним чином, шляхом підвищення ріжучої здатності шліфувального круга.

Таким чином, теоретично обґрунтовано ефективність здійснення автоматизованого циклу круглого зовнішнього шліфування в один етап, який включає лише етап виходжування із створенням у технологічній системі початкового натягу, рівного або кратного величині припуску, що знімається, і застосуванням високочастотних осцилюючих поздовжніх рухів стола верстата (або шліфувального круга). При цьому швидкість обертання деталі необхідно встановлювати максимально можливою, виходячи із технічних характеристик круглошліфувального верстата. Такий режим шліфування забезпечить одержання необхідних показників точності та якості оброблюваної поверхні за найменшим основним часом цикла круглого зовнішнього поздовжнього шліфування.

Отримане теоретичне рішення дозволяє уточнити відоме рішення, відповідно до якого застосовуваний на практиці автоматизований цикл круглого шліфування виконується в декілька етапів, включаючи чорнове (чистове) шліфування та виходжування. Як установлено теоретично, цей цикл менш продуктивний порівняно із запропонованим циклом шліфування.

Для перевірки правильності отриманих теоретичних рішень проведено експериментальні дослідження. Для цього здійснювали обробку отворів діаметром 100 мм і висотою 150 мм в деталях із сталі 18ХГН2МФБ твердістю HRC 57 ... 63 із застосуванням абразивного круга 1А1 100×20×62 25А 25 СМ1 8 із режимом шліфування: $V_{кр} = 35$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; швидкість поздовжньої подачі $S_{позд} = 1{,}5$ м/хв; тривалість поздовжнього ходу круга 7 с.

Експериментально встановлено (рис. 8.7), що утворення пружних переміщень у технологічній системі під час шліфування узгоджується з аналітичними залежностями. Так, встановлено, що під час внутрішнього шліфування за жорсткою схемою у зв'язку з відносно низькою жорсткістю технологічної системи ($C = 2{,}6 \cdot 10^6$ Н/м) величина пружного переміщення із часом обробки необмежено збільшується. Це вимагає здійснення періодичного виходжування, що різко знижує продуктивність обробки. Тому в цих умовах весь припуск доцільно знімати за пружною схемою шліфування з початковим натягом (рис. 8.8), рівним або кратним величині припуску, що знімається (тобто за схемою виходжування із відключеною радіальною подачею).

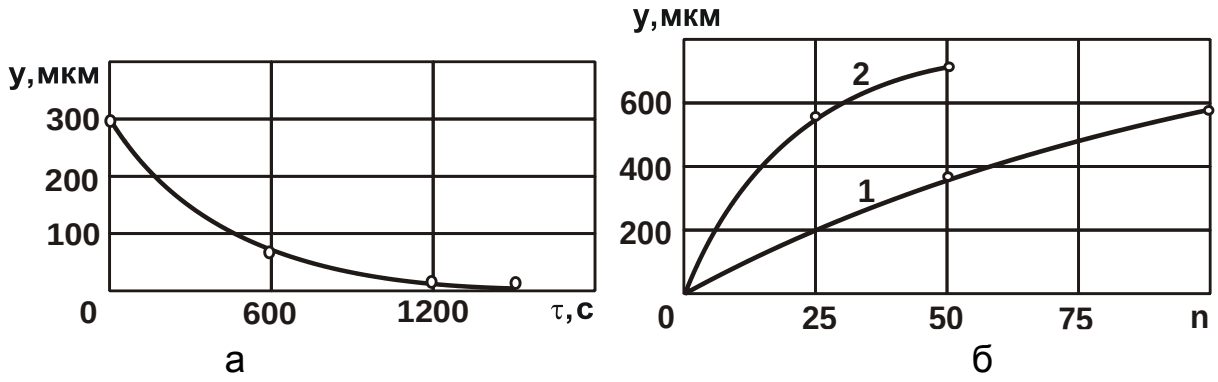


Рисунок 8.7 – Залежності пружного переміщення y від часу обробки τ в умовах виходжування (а) та від кількості проходів круга n в умовах шліфування за жорсткою схемою (б): 1 – $t = 0{,}01$ мм; 2 – $t = 0{,}02$ мм

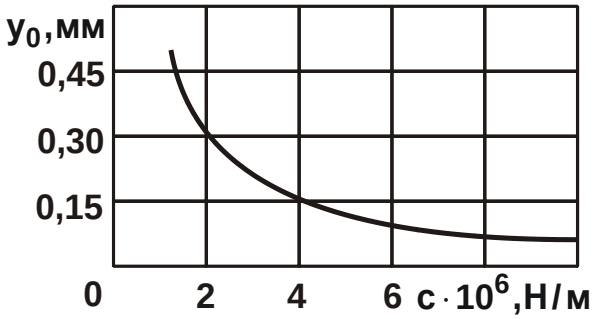


Рисунок 8.8 – Залежність граничних значень початкових натягів y_0 від жорсткості технологічної системи c

Експериментально встановлено, що під час знімання припуску 0,5 мм на сторону обробку ефективно виконувати за 3 переходи за пружною схемою шліфування зі створенням в технологічній системі по-

чаткових натягів на кожному переході, рівних, відповідно: 0,25 мм, 0,25 мм, 0,02 мм. У цьому випадку продуктивність обробки збільшується до 2 разів і забезпечуються вимоги за точністю розміру (у межах 10 мкм) і шорсткістю (R_a < 0,63 мкм) оброблюваної поверхні, фактично виключаються коливання в технологічній системі. На оброблених поверхнях відсутні припікання й мікротріщини. На 30 % знижуються витрати абразивних кругів у зв'язку зі зменшенням їх зношування. Експериментально встановлено, що застосування нового варіанту обробки дозволяє до 2 разів зменшити час охолодження оброблюваної деталі після шліфування (яке здійснюється без знімання нагрітої деталі з верстата) з метою усунення її термопружних деформацій і підвищення точності обробки. Це пов'язано з тим, що кількість тепла $Q_{вих}$ (рис. 8.9), яке виділяється під час шліфування за схемою виходжування, до 3-х разів менше, ніж під час внутрішнього шліфування за жорсткою схемою ($Q_{вріз}$).

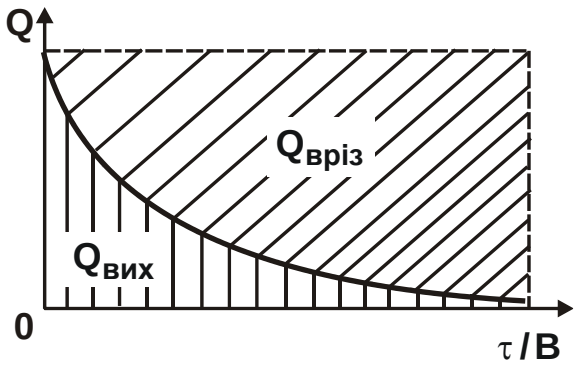


Рисунок 8.9 – Залежність $Q_{вих}$ і $Q_{вріз}$ від відносної величини τ/B

Величина $B = \frac{\sigma}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot F$ − постійна часу утворення пружного переміщення в технологічній системі, с; F − площа поперечного перетину оброблюваної деталі, м^2.

8.1.4. Обґрунтування ефективності застосування пружної схеми шліфування із початковим натягом у технологічній системі

Аналітично визначимо умови підвищення точності та продуктивності обробки для спрощеної схеми шліфування деталі, яка рухається за нормаллю до робочої поверхні круга із постійною швидкістю V_0. Ви-

користовуючи рівняння балансу переміщень у технологічній системі $V_0 \cdot \tau = \int_0^{\tau} V(\tau) \cdot d\tau + y$, яке можна записати диференційним рівнянням $B \cdot V'(\tau) + V(\tau) = V_0$, і розв'язуючи його для початкової умови $y(\tau = 0) = y_0$, визначено величину пружного переміщення y:

$$y = y_{стал} + (y_0 - y_{стал}) \cdot e^{-\frac{П}{y_{стал}}} = y_{стал} + (y_0 - y_{стал}) \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}, \quad (8.27)$$

де $V(\tau)$ – лінійна швидкість знімання припуску, м/с;

τ – час обробки, с;

y_0 – початковий натяг у технологічній системі, м;

$e \approx 2{,}72$;

$П$ – припуск, що знімається, м;

$y_{стал} = B \cdot V_0$ – величина пружного переміщення у сталому процесі шліфування, м.

Залежність (8.27) за умови $y_0 = 0$ є основою для визначення найменшого основного часу обробки τ із урахуванням обмеження за точністю розміру оброблюваної поверхні на операції шліфування із дискретно змінюваною за переходами швидкістю переміщення деталі.

Під час шліфування у два переходи час обробки τ обчислюється:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{П}{V_1} + \frac{y_1}{V_2} = B \cdot \left(\frac{П}{y_{стал1}} + \frac{y_1}{y_{стал2}} \right), \quad (8.28)$$

де τ_1; τ_2; V_1; V_2; $y_{стал1} = B \cdot V_1$; $y_{стал2} = B \cdot V_2$; y_1 – відповідно, основний час обробки поверхні деталі (с), швидкість переміщення деталі (м/с), пружні переміщення (м) на першому (1) і на другому (2) переходах.

Застосовуючи уточнення на першому і другому переходах $\varepsilon_1 = \frac{П}{y_1} = \frac{\tau_1}{B \cdot \left(1 - e^{-\tau_1 / B}\right)}$; $\varepsilon_2 = \frac{y_1}{y_2} = \frac{\tau_2}{B \cdot \left(1 - e^{-\tau_2 / B}\right)}$, із урахуванням сумарного уточнення $\varepsilon_{сум} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2$ і залежності (8.28), отримано рівняння для визначення основного часу обробки τ:

$$\varepsilon_{сум} \cdot \left[1 - e^{-\frac{(\tau - \tau_1)}{B}} - e^{-\frac{\tau_1}{B}} + e^{-\frac{\tau}{B}} \right] = \frac{1}{B^2} \cdot \left(\tau \cdot \tau_1 - \tau_1^2 \right), \quad (8.29)$$

де y_2 – пружне переміщення, яке виникає в технологічній системі на 2-му переході та визначає точність розміру оброблюваної поверхні, м.

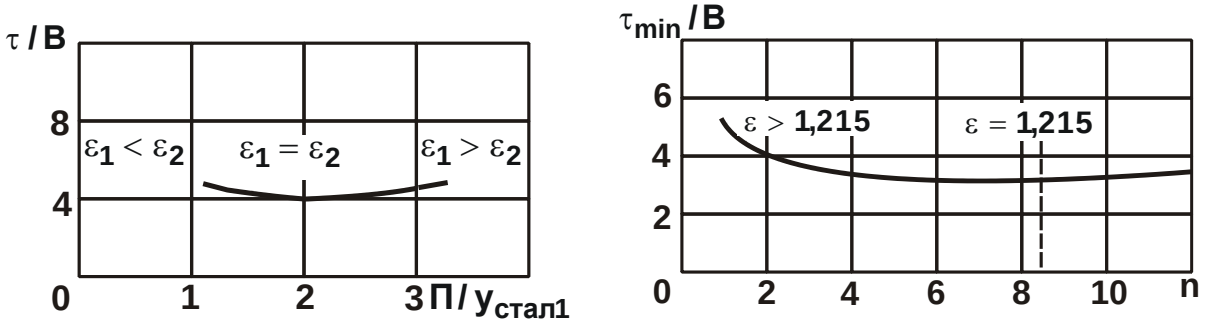
За наявності екстремуму (мінімуму) функції $\tau = f(\tau_1)$ залежність (8.29) набуває вигляду:

$$\varepsilon_{сум} \cdot \left[-e^{-\frac{(\tau-\tau_1)}{B}} + e^{-\frac{\tau_1}{B}} \right] = \frac{1}{B} \cdot (\tau - 2 \cdot \tau_1). \qquad (8.30)$$

Маємо рішення: $\tau = 2 \cdot \tau_1$, відповідно $\tau_1 = \tau_2$. Звідки $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, $\varepsilon_{сум} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 = \varepsilon^2$ і рівняння (8.30) набуде вигляду:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\tau_1^2}{B^2 \cdot \left(1 - e^{-\tau_1/B}\right)^2} \ . \qquad (8.31)$$

Для $\varepsilon_{сум} = 5{,}376$ і, відповідно, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon = 2{,}319$ із залежності (8.31) визначено екстремальні (мінімальні) значення відносних величин: $\tau_1/B = \tau_2/B = 2$; $\tau/B = 4$, а із залежності (8.28) – екстремальне значення відношення $П/у_{стал1} = 2$ (рис. 8.10,а).



а б

Рисунок 8.10 – Залежності відносної величини τ/B від відношення $П/у_{стал1}$ (а) та відносної величини τ_{min}/B від кількості переходів n (б)

Також визначено відносну величину τ/B під час шліфування в три та більше переходів. Загальним рішенням є те, що мінімум відносної величини τ/B досягається за однієї й тієї ж тривалості переходів і одних значеннях уточнення на кожному переході, тобто

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = ... = \varepsilon_n = \varepsilon;$$

$$\varepsilon_{сум} = \varepsilon_1^n = \varepsilon^n.$$

Зі збільшенням кількості переходів n відносна величина τ_1/B зменшується, а відносна величина τ/B змінюється за екстремальною

залежністю, досягаючи мінімального значення за умови $n=8$ (для $\varepsilon_{сум}=5{,}376$, рис. 8.10,б, табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Розрахункові значення ε, τ_1/B і τ/B

n	1	2	3	4	5	6	8	10	12
ε	5,376	2,319	1,75	1,52	1,4	1,32	1,235	1,18	1,15
τ_1/B	5,3	2	1,25	0,91	0,72	0,58	0,435	0,35	0,3
τ/B	5,3	4	3,75	3,64	3,6	3,48	3,47	3,5	3,6

Найменший основний час обробки τ_{min} під час шліфування в n переходів із урахуванням залежності (8.27) для $y_0=0$ та $y_1=y$; $x=П/y_{стал1}$ обчислюється за залежністю:

$$\tau_{min}=B\cdot n\cdot\frac{П}{y_{стал1}}=B\cdot\frac{\ln\varepsilon_{сум}}{\ln\frac{П}{y_1}}\cdot\frac{П}{y_{стал1}}=B\cdot\frac{\ln\varepsilon_{сум}}{\ln\left[\frac{x}{\left(1-e^{-x}\right)}\right]}\cdot x. \qquad (8.32)$$

Величина x неоднозначно впливає на τ_{min}. Після визначння екстремуму функції τ_{min} від величини x, отримано рівняння:

$$\ln\left[\frac{x}{\left(1-e^{-x}\right)}\right]=1-\frac{x\cdot e^{-x}}{\left(1-e^{-x}\right)}. \qquad (8.33)$$

Розрахунками встановлено: $x=П/y_{стал1}=0{,}4$; $y_1/y_{стал1}=0{,}329$.

Оптимальне уточнення на переході дорівнює $\varepsilon=П/y_1=1{,}215$, а сумарне уточнення дорівнює $\varepsilon_{сум}=1{,}215^n$.

Встановлено, що для сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}=5{,}376$ мінімум $\tau_{min}=0{,}4\cdot n\cdot B=3{,}2\cdot B$, де $n=\frac{\ln\varepsilon_{сум}}{\ln\varepsilon}=\frac{\ln 5{,}376}{\ln 1{,}215}=\frac{0{,}68}{0{,}2}=8{,}4$. Значення $\tau_{min}=3{,}2\cdot B$ несуттєво відрізняється від значення $\tau_{min}=4\cdot B$, яке отримано для $n=2$ і $\varepsilon=2{,}32$ (рис. 8.10,б).

Отже, майже з однаковою продуктивністю обробки можна шліфування здійснювати в діапазоні $n=2$ ... 8, тобто зі зміною уточнення ε в межах 1,215 … 2,32.

Для сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}=100$ екстремальна кількість переходів дорівнює $n=\frac{\ln\varepsilon_{сум}}{\ln\varepsilon}=\frac{\ln 100}{\ln 1{,}215}=23$, а $\tau_{min}=0{,}4\cdot 23\cdot B=9{,}2\cdot B$.

Розрахунками встановлено, що для $n = 4 \ldots 23$ відносна величина τ / B змінюється несуттєво (у межах 9,2 ... 12). Тому практично з мінімальним основним часом обробки можна здійснювати шліфування із $n = 4 \ldots 5$ (тобто із $\varepsilon = 2{,}5 \ldots 3{,}15$), оскільки подальше збільшення n не надає відчутного ефекту зниження τ / B. Таким чином, враховуючи нелінійність функції $V(\tau)$ в залежності $y = B \cdot V(\tau)$, виконано уточнений розрахунок найменшого основного часу обробки із урахуванням обмеження за точністю розміру оброблюваної поверхні деталі під час урізного шліфування за жорсткою схемою з дискретно змінюваним в часі характером контакту круга з деталлю.

Для порівняння отримано аналогічні рішення відносно урізного шліфування за жорсткою схемою з постійним контактом круга з деталлю. Основний час обробки τ на операції шліфування у два переходи (рис. 8.11) під час знімання припусків $П_1$ і $П_2$ визначається залежністю:

$$\tau = \frac{П_1}{V_1} + \frac{П_2}{V_2} = B \cdot \left(\frac{П_1}{y_{стал1}} + \frac{П_2}{y_{стал2}} \right) . \qquad (8.34)$$

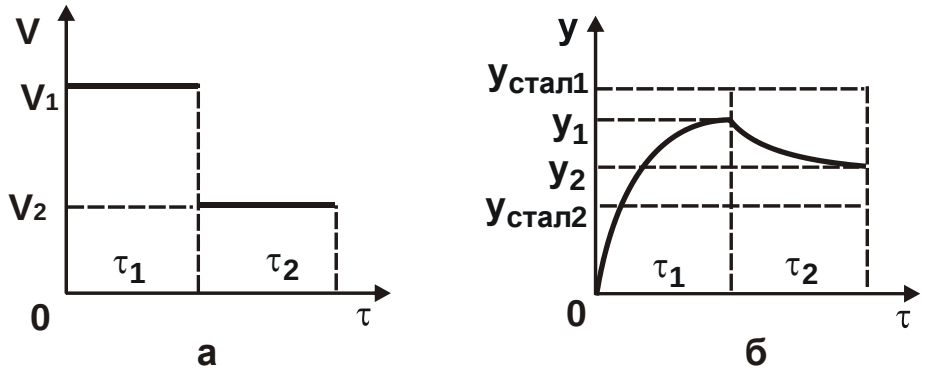


Рисунок 8.11 – Характер зміни швидкості V (а)
і пружного переміщення y (б) із часом обробки τ

У даному випадку параметри V_1, V_2 та, відповідно, $y_{стал1} = B \cdot V_1$, $y_{стал2} = B \cdot V_2$ – невідомі. Тому слід виразити залежність (8.34) відносно $y_{стал_1}$ та підставити отриманий вираз у залежність (8.27), приймаючи на першому переході $y = y_1$; $y_0 = 0$; $y_{стал} = y_{стал1}$:

$$y_1 = \frac{П_1}{\left(\frac{\tau}{B} + \frac{П_2}{y_{стал2}} \right)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\tau}{B} + \frac{П_2}{y_{стал2}} \right)} \right] . \qquad (8.35)$$

Потім після підстановки залежності (8.35) у залежність (8.27), приймаючи на другому переході $y = y_2$; $y_0 = y_1$; $y_{стал} = y_{стал2}$, маємо:

$$y_2 = y_{стал2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{П_2}{y_{стал2}}}\right) + \frac{П_1}{\left(\frac{\tau}{B} - \frac{П_2}{y_{стал2}}\right)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\tau}{B} - \frac{П_2}{y_{стал2}}\right)}\right] \cdot e^{-\frac{П_2}{y_{стал2}}}. \quad (8.36)$$

Рівняння (8.35) і (8.36) містять лише дві невідомі величини $y_{стал2}$ і τ/B, оскільки параметри y_1 і $y_{стал1}$ визначаються на основі залежності (8.27), розглядаючи $y = y_1$; $y_0 = 0$; $y_{стал} = y_{стал1}$ (рис. 8.12,а, б). За заданими значеннями y_2, $П$, $П_1$ і $П_2 = П - П_1$, на основі рівнянь (8.35) і (8.36) можна розрахувати значення $y_{стал2}$ і τ/B (рис. 8.12,в,г)

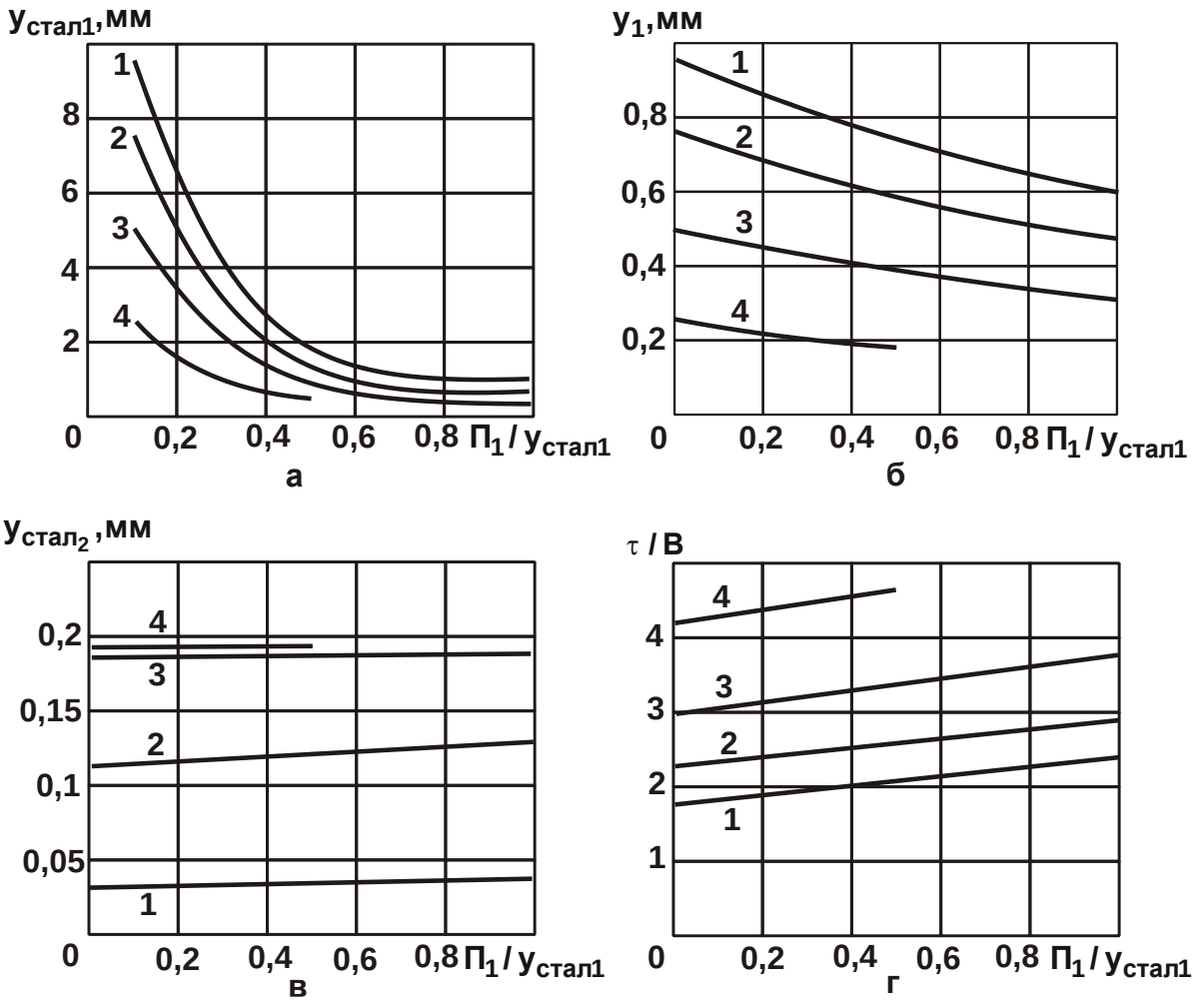


Рисунок 8.12 – Залежності параметрів $y_{стал1}$ (а), y_1 (б), $y_{стал2}$ (в) і τ/B (г) від відношення $П_1 / y_{стал1}$: 1 – $П_1 = 0{,}95$ мм; $П_2 = 0{,}05$ мм; 2 – $П_1 = 0{,}75$ мм; $П_2 = 0{,}25$ мм; 3 – $П_1 = П_2 = 0{,}5$ мм; 4 – $П_1 = 0{,}25$ мм; $П_2 = 0{,}75$ мм ($П = 1$ мм і $y_2 = 0{,}186$ мм)

Як видно, зі збільшенням $П_1$ відносна величина $\tau/В$ зменшується, досягаючи мінімального значення за умови $П_1 = П$, тобто коли знімання припуску та формування точності обробки відбувається на другому переході. Перший перехід необхідний лише для створення в технологічній системі пружного переміщення (початкового натягу) величиною $у_1 = П$. Це указує на ефективність застосування пружної схеми шліфування із початковим натягом у технологічній системі, рівним (схема 1 на рис. 8.13) або кратним (схема 2 на рис. 8.13) величині припуску, що знімається.

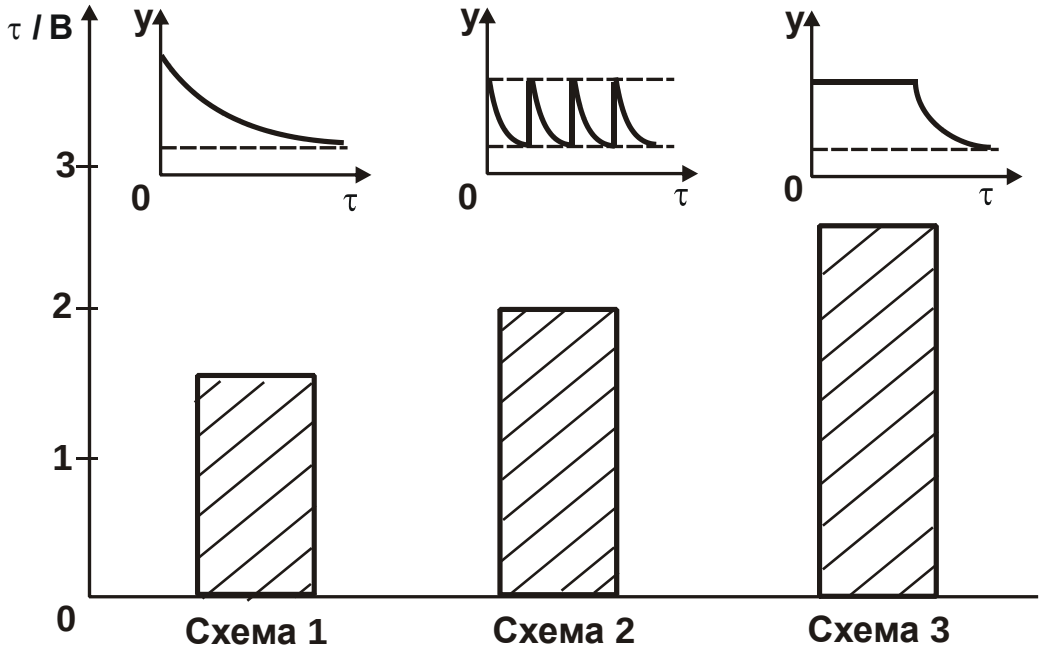


Рисунок 8.13 – Діаграма розподілу значень відносної величини $\tau/В$ для трьох схем шліфування

Під час шліфування у два переходи, що включає перехід шліфування за жорсткою схемою та перехід шліфування за пружною схемою із початковим натягом у технологічній системі, значно меншим величини знятого припуску (схема 3 на рис. 8.13), відносна величина $\tau/В$ та, відповідно, основний час обробки τ приймають більші значення. Установлено також, що значення $\tau/В$ під час шліфування з постійним у часі контактом круга з деталлю (рис. 8.13) менше, ніж в умовах дискретного контакту (рис. 8.10).

Таким чином, теоретично обґрунтовано закономірності формування похибок обробки поверхонь, обумовлених пружними перемі-

щеннями в технологічній системі, для різних схем шліфування, включаючи жорстку і пружну схеми та схему виходжування за дискретним і безперервним у часі характером знімання припуску. На цій основі визначено умови зменшення основного часу обробки за заданої точності оброблюваної поверхні, які обумовлені переходом від дискретного до безперервного характеру знімання припуску.

Встановлено мінімальний основний час обробки залежно від кількості переходів під час шліфування з дискретним характером знімання припуску. При цьому доведено незначимість зміни основного часу обробки в широкому діапазоні зміни уточнення ($\varepsilon = 1{,}215$ ... 3,150), внаслідок чого можна виконувати шліфування за чотири або п'ять переходів, зменшуючи трудомісткість обробки із забезпеченням необхідної (заданої) точності оброблюваної поверхні.

8.1.5. Закономірності формування похибок обробки під час зубошліфування за методом профільного копіювання

В останні роки у зв'язку з освоєнням виробництва високопористих абразивних кругів усе ширше застосовують високопродуктивний процес зубошліфування за методом профільного копіювання. Однак, як відомо, даний метод характеризується відносно низкою точністю обробки у зв'язку з виникненням значних сил різання, підвищенням зношування круга та порушенням профілю його робочої поверхні.

Суттєвим чинником утворення похибок обробки слід також розглядати нерівномірність припуску, що знімається, через виникнення термопружних деформацій зубів колеса під час його термічної або хіміко-термічної обробок та неправильної установки круга в оброблюваній западині зубчастого колеса. Дані закономірності меншою мірою мають місце під час зубошліфування за методом обкатування, коли обробку виконують за схемою багатопрохідного шліфування із відносно невеликою глибиною шліфування.

Під час зубошліфування за методом профільного копіювання на обох сторонах робочих поверхонь конусного круга (із кутом α у вершини) будуть діяти дві різні за величиною радіальні складові сили різання P_{y1} і P_{y2} (рис. 8.14). У загальному вигляді кожну із цих сил можна розкласти на дві складові – горизонтальну і вертикальну. Тоді горизон-

тальні складові сили $P_{у.г1}$ і $P_{у.г2}$ будуть вигинати конусний круг, що приведе до деформації елементів технологічної системи в горизонтальному напряму за умови нерівності сил $P_{у.г1}$ і $P_{у.г2}$. Очевидно, чим більше різниця сил $P_{у.г1}$ і $P_{у.г2}$, тим значніше будуть пружні переміщення, що виникають у технологічній системі в горизонтальному напрямі. Властиво, різниця сил $P_{у.г1}$ та $P_{у.г2}$ й буде визначати основну похибку обробки зубів колеса у зв'язку з нерівномірністю припуску, що знімається.

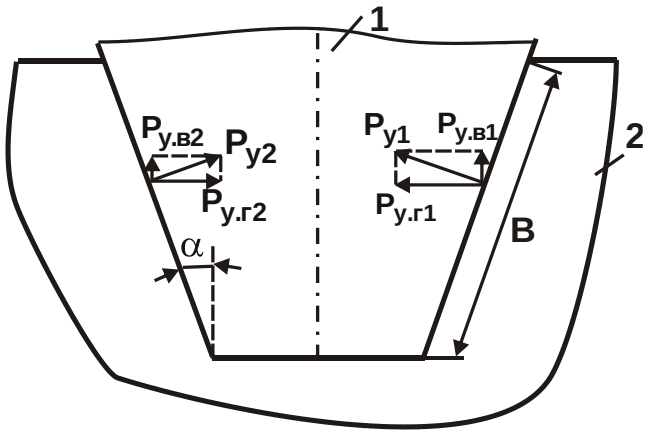


Рисунок 8.14 – Розрахункова схема параметрів зубошліфування за методом профільного копіювання: 1 – круг; 2 – оброблюваний матеріал

Вертикальні складові сили $P_{у.в1}$ і $P_{у.в2}$ виштовхують шліфувальний круг із западини зубчастого колеса та формують похибку обробки у вертикальному напрямі. Однак, ця похибка обробки буде проявлятися в меншій мірі порівняно із похибкою обробки в горизонтальному напрямі, оскільки горизонтальні складові сили $P_{у.г1}$ і $P_{у.г2}$ будуть значно більше вертикальних складових сил $P_{у.в1}$ і $P_{у.в2}$ у зв'язку із відносно невеликим кутом α. Тим більше, що похибки обробки у вертикальному напрямі, викликані дією сил $P_{у.в1}$ і $P_{у.в2}$, будуть вісесиметричними відносно западини зубчастого колеса, тоді як похибки обробки у горизонтальному напрямі (викликані дією сил $P_{у.г1}$ і $P_{у.г2}$) будуть несиметричними, усунути які, очевидно, значно складніше.

Для спрощення розрахунку величини пружного переміщення, що виникає в технологічній системі, бічні робочі поверхні круга слід розглядати не криволінійними, а прямолінійними. Оскільки під час шлі-

фування у різанні приймають участь одночасно дві сторони круга, то це не внесе принципових змін у виконані розрахунки. Виходячи із цього, величину пружного переміщення y, що виникає в технологічній системі в горизонтальному напрямі, визначимо за залежністю:

$$y_1 = \frac{(P_{y.г1} - P_{y.г2})}{C} = \frac{(P_{y1} - P_{y2}) \cdot \cos\alpha}{C} = \frac{(P_{z1} - P_{z2}) \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш}, \quad (8.37)$$

де C – жорсткість технологічної системи в горизонтальному напрямі, Н/м;

P_{z1}, P_{z2} – відповідно, тангенціальні складові сили різання, що діють на обох сторонах круга, Н;

$K_ш = P_{z1}/P_{y1} = P_{z2}/P_{y2}$;

$$P_{z1} - P_{z2} = \sigma \cdot \frac{(Q_1 - Q_2)}{V_{кр}} = \sigma \cdot \frac{(V_{дет} \cdot B \cdot П_1 - V_{дет} \cdot B \cdot П_2)}{V_{кр}}; \quad (8.38)$$

$Q_1 = V_{дет} \cdot B \cdot П_1$, $Q_2 = V_{дет} \cdot B \cdot П_2$ – значення продуктивності обробки, які досягаються умовно під час знімання припусків із двох суміжних зубів колеса шліфувальним кругом, м^3/с;

$V_{дет}$ – швидкість переміщення деталі уздовж оброблюваного зуба (швидкість деталі), м/с;

B – довжина оброблюваної частини зуба, м;

$П_1$, $П_2$ – відповідно, величини припусків, що знімаються з бічних поверхонь двох суміжних зубів колеса (утворюючих западину на зубчастому колесі), м.

Внаслідок виникаючих у технологічній системі пружних переміщень фактичні величини припусків, що знімаються, відрізняються від номінальних припусків $П_1$ та $П_2$, і, відповідно, дорівнюють $П_1 - y_1$ та $П_2 + y_1$. Тоді залежність (8.37) після перетворень виразиться:

$$y_1 = \frac{0{,}5 \cdot \Delta П_1}{\left(1 + \frac{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha}\right)}, \quad (8.39)$$

де $\Delta П_1 = П_1 - П_2$.

Аналогічно визначається величина пружного переміщення y_n після n-го проходу круга:

$$y_n = 0{,}5 \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}\right)^n \cdot \Delta П_1. \quad (8.40)$$

Уточнення на n-му проході круга:

$$\varepsilon_n = \frac{y_{n-1}}{y_n} = \frac{0{,}5 \cdot C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha}. \qquad (8.41)$$

Глибина шліфування не входить у розрахункові залежності. Тому її можна встановлювати за різними законами із урахуванням того, що на кожному наступному проході круга вона повинна перевищувати величину пружного переміщення, що утворюється на попередньому проході круга.

Розглянемо випадок зубошліфування, коли оброблювана западина зубчастого колеса має симетричний вигляд (рис. 8.15). Тоді $\Delta П_1 = 2 \cdot \Delta_0$, де Δ_0 – зсув вісі конусного круга відносно вісі западини, м. Даний випадок обробки може мати місце після операції зубонарізання, коли утворюється достатньо точний профіль зубчастого колеса. Тоді

$$y_n = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \right)^n \cdot \Delta_0. \qquad (8.42)$$

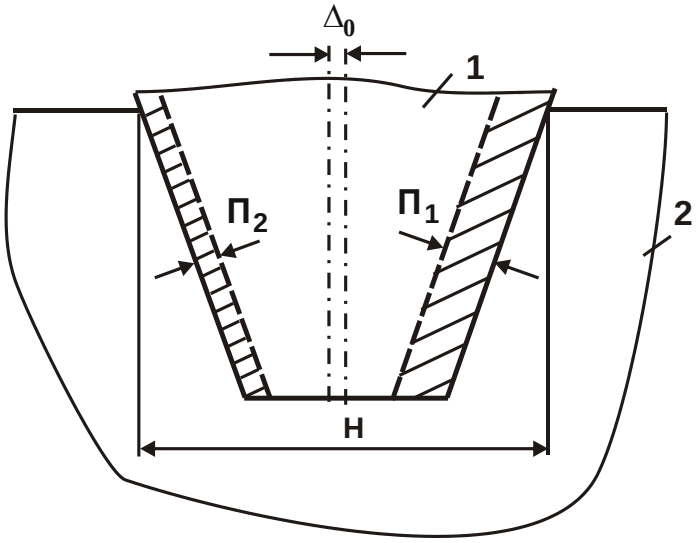


Рисунок 8.15 – Розрахункова схема величини відхилення вісі конусного круга відносно вісі западини Δ_0

Установлено, що уточнення на кожному проході круга однаково і визначається відношеннями:

$$\varepsilon = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \ldots = \frac{y_{n-1}}{y_n} = \frac{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha}. \qquad (8.43)$$

Відповідно, сумарне уточнення $\varepsilon_{сум}$ дорівнює:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\Delta_0}{y_n} = \left(\frac{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дет} \cdot B \cdot \cos\alpha} \right)^n . \qquad (8.44)$$

У цьому випадку величини Δ_0 і y_n задано, тому відомим є і сумарне уточнення $\varepsilon_{сум} > 1$.

Із урахуванням отриманих залежностей (8.43) і (8.44) величина пружного переміщення y_n, що виникає в технологічній системі та описується залежністю (8.42), аналітично виразиться:

$$y_n = \frac{\Delta_0}{\varepsilon^n} . \qquad (8.45)$$

Зі збільшенням кількості проходів круга n величина пружного переміщення y_n безупинно зменшується (табл. 8.3, рис. 8.16).

Таблиця 8.3 – Розрахункові значення відношення y_n / Δ_0

n	1	2	3	4	5	6
y_n / Δ_0	0,367	0,135	0,05	0,018	0,0067	0,0025

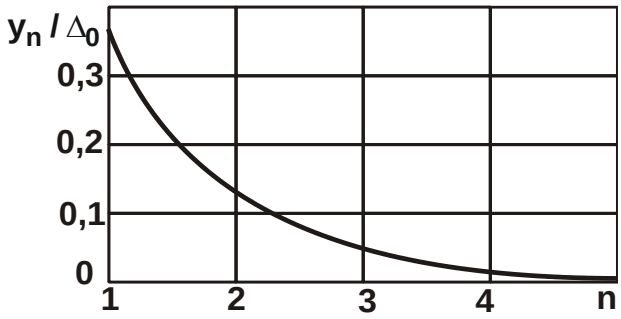


Рисунок 8.16 – Залежність відношення y_n / Δ_0 від кількості проходів круга n

Після підстановки залежності (8.43) у залежність (8.44) маємо:

$$\varepsilon_{сум} = \varepsilon^n . \qquad (8.46)$$

Із залежності (8.46) витікає, що чим більше уточнення на проході круга ε, тим за меншу кількість проходів круга n можна досягти заданого сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$.

Основний час обробки τ в загальному вигляді описується:

$$\tau = \frac{2 \cdot n \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}, \qquad (8.47)$$

де L – довжина оброблюваного зуба колеса, м.

Очевидно, зі збільшенням кількості проходів круга n основний час обробки τ змінюється неоднозначно, оскільки зі збільшенням n множник $\sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$ зменшується. Отже, існує екстремум основного часу обробки τ від кількості проходів круга n. Для його визначення скористаємося необхідною умовою екстремуму $\tau'_n = 0$:

$$\tau'_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} \cdot \left(1 - \frac{\ln \varepsilon_{сум}}{n}\right) = 0. \qquad (8.48)$$

Рішення рівняння (8.48):

$$n = \ln \varepsilon_{сум} \qquad (8.49)$$

або

$$\varepsilon_{сум} = e^n. \qquad (8.50)$$

У підсумку прийшли до залежності, аналогічної залежності (8.46). Порівнюючи залежності (8.46) і (8.50), отримане:

$$\varepsilon = e. \qquad (8.51)$$

Отже, у точці екстремуму основного часу обробки τ уточнення на проході круга ε дорівнює числу $e \approx 2{,}72$. Розрахунками встановлено, що у точці екстремуму функції τ її друга похідна завжди позитивна. Тому має місце мінімум функції τ. Отримане теоретичне рішення (8.50) погодиться з відомим і широко застосовуваним на практиці рішенням, що описуэться емпіричною залежністю:

$$k_j = \frac{\lg \varepsilon_{0j}}{a}, \qquad (8.52)$$

де k_j – кількість операцій або переходів;

a – коефіцієнт ($a = 0{,}45 \ldots 0{,}5$);

$j = d;\ R_z,\ \Delta$ – індекси, які позначають: параметр геометричного розміру, параметр шорсткості та параметр взаємного розташування поверхонь.

Щодо розглянутого випадку залежність (8.52) зміниться:

$$k_j = \frac{\lg \varepsilon_{d_0}}{a}. \qquad (8.53)$$

Величина ε_{d_0}, за суттю, визначає сумарне уточнення $\varepsilon_{сум}$.

Представимо залежність (8.53) у вигляді:

$$\varepsilon_{d_0} = 10^{a \cdot k_j} \approx 3{,}1^{k_j}. \qquad (8.54)$$

Із порівняння залежностей (8.50) і (8.54) видно, що вони описуються степеневою функцією, але з різними основами. Однак, основи $e \approx 2{,}72$ і 3,1 відрізняються незначно, що дозволяє розглядати залежності (8.50) і (8.54) фактично ідентичними. Отже, отримане теоретичне рішення відповідає відомому емпіричному рішенню, що указує на його вірогідність.

У табл. 8.4 і на рис. 8.17 наведено розраховані за залежністю (8.53) значення сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$ (у точці екстремуму основного часу обробки τ) для різної кількості проходів круга n. Як видно, за 3 – 4 проходи круга можна забезпечити достатньо великі значення сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$, що погодиться із практичними даними.

Таблиця 8.4 – Розрахункові значення сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$

n	1	2	3	4	5	6
$\varepsilon_{сум}$	2,72	7,4	20,1	54,7	148,9	405

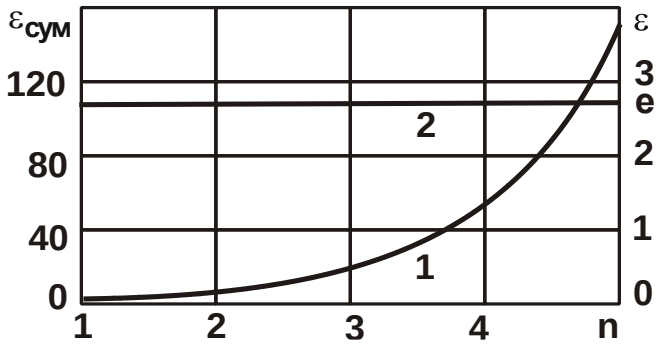


Рисунок 8.17 – Залежності сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$ (1) і уточнення на проході круга ε (2) від кількості проходів круга n

На рис. 8.17 також показано характер зміни уточнення на проході круга ε (у точці екстремуму основного часу обробки τ) від кількості проходів круга n. У цьому випадку уточнення на проході круга ε залишається постійним зі збільшенням кількості проходів круга n, рівним $\varepsilon = e \approx 2{,}72$.

Екстремальна швидкість деталі $V_{дет}$ виражається:

$$V_{дет} = \frac{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{2 \cdot e \cdot \sigma \cdot B \cdot \cos\alpha}. \qquad (8.55)$$

У табл. 8.5 і на рис. 8.18 наведено розраховані за залежністю (8.47) значення основного часу обробки τ для різної кількості проходів круга n за умови $\frac{2 \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} = 1$ с.

Таблиця 8.5 – Розрахункові значення основного часу обробки τ для $\varepsilon_{сум} = 100$

n	1	2	3	4	5	6
τ, с	100,0	20,0	13,95	12,6	12,6	12,9

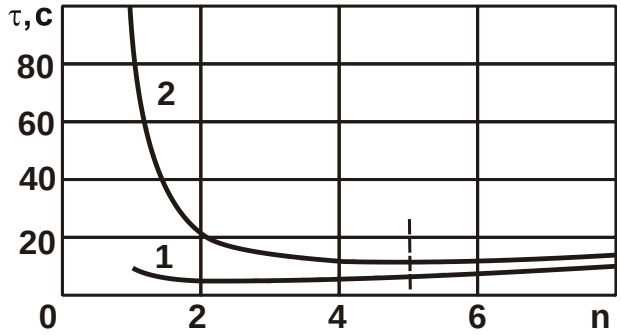


Рисунок 8.18 – Залежність основного часу обробки τ від кількості проходів круга n для різних значень сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$:
1 – $\varepsilon_{сум} = 10$; 2 – $\varepsilon_{сум} = 100$.

Як видно, у широких межах зміни величини n основний час обробки τ, починаючи від $n = 2$ (для $\varepsilon_{сум} = 100$), змінюється несуттєво. Тому, приймаючи кількість проходів круга n близькою до оптимального значення, завжди можна досягти приблизно однакового значення основного часу обробки τ. Отже, кількість проходів круга n не настільки суттєво впливає на основний час обробки τ за умови забезпечення необхідної точності обробки.

Для визначення мінімального значення основного часу обробки τ_{min} слід підставити залежності (8.49) і (8.50) у залежність (8.47):

$$\tau_{min} = \frac{2 \cdot e \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos\alpha}{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}} \cdot \ln \varepsilon_{сум}. \qquad (8.56)$$

Необхідно зазначити, що в наведені вище залежності не входить параметр – висота круга H. Забезпечення заданої похибки обробки $y_п$ досягається у результаті встановлення оптимальної кількості проходів круга n. Отже, як відзначалося раніше, під час зубошліфування за методом профільного копіювання можна за різними законами задавати глибини шліфування, за суттю, на кожному із проходів круга. Це не внесе змін у закономірності формування похибок обробки. В остаточному підсумку можна отримати задану величина $y_п$.

Розрахунок швидкості деталі $V_{дет}$ за залежністю (8.55) для вихідних даних: $C = 3 \cdot 10^4$ Н/мм; $K_ш = 0{,}4$; $V_{кр} = 40$ м/с; $\sigma = 10^5$ Н/мм^2; $B = 20$ мм; $\alpha = 30^o$ показав, що $V_{дет} = 3{,}06$ м/хв.

Для $\Delta П_1 = 0{,}4$ мм і $y_п = 0{,}005$ … 0,01 мм сумарне уточнення дорівнює $\varepsilon_{сум} = 20$ … 50. Виходячи із табл. 8.4, це припускає здійснення 4-х проходів круга для забезпечення заданої точності обробки. Із метою зменшення основного часу обробки доцільно на першому проході круга здійснити попереднє шліфування за схемою однопрохідного глибинного шліфування зі зніманням основної частини припуску – 0,37 мм, а на трьох наступних проходах – остаточне шліфування за схемою багатопрохідного шліфування зі зніманням припуску на проході, рівного 0,01 мм. Такий маршрут обробки під час зубошліфування дозволить забезпечити максимально можливу продуктивність обробки із урахуванням заданої точності оброблюваної поверхні.

Для оцінювання вірогідності отриманого теоретичного рішення проведено експериментальні дослідження технологічних параметрів зубошліфування за методом профільного копіювання на сучасному зубошліфувальному верстаті моделі HOFLER RAPID 1250 (тобто в умовах глибинного шліфування) із застосуванням високопористого профільного абразивного круга. Обробку здійснювали із швидкістю обертання круга 35 м/с та глибиною шліфування на першому проході 0,37 мм і на трьох наступних проходах – 0,01 мм, швидкістю переміщення круга (уздовж оброблюваного зуба зубчастого колеса) – 3 м/хв.

Таким чином, знімання припуску величиною 0,4 мм на сторону здійснювалося за 4 проходи круга. При цьому забезпечувалася необхідна точність обробки – у межах 0,01 мм, на оброблюваних поверхнях відсутні припікання та інші температурні дефекти, що указує на віднос-

но низьку температуру шліфування та високу ріжучу здатність круга в умовах глибинного шліфування. Порівняно із традиційно прийнятою схемою зубошліфування за методом обкату це дозволило до 5 разів збільшити продуктивність обробки.

8.1.6. Умови підвищення точності та продуктивності обробки отворів мірними лезовими інструментами

Виготовлення високоточних отворів є актуальною задачею технології машинобудування. У зв'язку із цим розроблено математичну модель визначення похибок обробки отвору (на прикладі розсвердлювання) і на її основі обґрунтовано умови підвищення точності та продуктивності обробки.

Величина відхилення осі оброблюваного отвору відносно її номінального положення Δ (яка дорівнює величині пружного переміщення в технологічній системі, рис. 8.19) внаслідок порушення умови рівноваги радіальних складових сил різання, що діють на обоє ріжучі леза свердла під час розсвердлювання отвору, визначається залежністю:

$$\Delta = \frac{\Delta P_y}{C} = \frac{\sigma \cdot S \cdot \Delta t \cdot \cos\varphi}{K_{різ} \cdot C}, \qquad (8.57)$$

де ΔP_y – найбільша різниця радіальних складових сил різання, що діють на обоє леза свердла, Н;

$K_{різ} = P_z / P_0$ – коефіцієнт різання;

$P_0 = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$;

P_z, P_y, P_x – тангенціальна, радіальна і осьова складові сили різання під час свердління, Н;

C – наведена жорсткість технологічної системи, Н/м;

σ – умовне напруження різання, Н/м^2;

S – подача, м/об.;

$\Delta t = t_1 - t_2$ – найбільша різниця глибин різання, що приходяться на обоє леза свердла, м;

2φ – подвійний кут свердла у плані.

Вхідну в залежність різницю глибин різання $\Delta t = t_1 - t_2$ визначають із урахуванням відношень: $t_1 = 0{,}5 \cdot (D - d) + \Delta_0$; $t_2 = 0{,}5 \cdot (D - d) - \Delta_0$, де D –

діаметр свердла, м; d – діаметр розсвердлюваного отвору, м; Δ_0 – величина відхилення між вісями розсвердлюваного отвору та свердла, м. Тоді $\Delta t = 2 \cdot \Delta_0$.

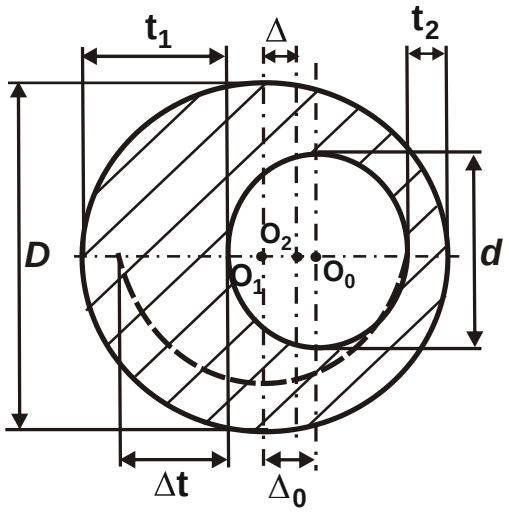


Рисунок 8.19 – Розрахункова схема величини відхилення осі обробленого отвору відносно її номінального положення Δ

Відповідно після n-го проходу свердла величина Δ_n описується:

$$\Delta_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos\varphi \cdot \Delta_{n-1}}{C \cdot K_{різ}} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos\varphi}{C \cdot K_{різ}} \right)^n \cdot \Delta_0, \qquad (8.58)$$

де Δ_{n-1} – відхилення осі оброблюваного отвору відносно її номінального положення після $n = 1$-го проходу свердла, м.

Сумарне уточнення $\varepsilon_{сум}$ і уточнення на проході свердла $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\Delta_0}{\Delta_n} = \left(\frac{C \cdot K_{різ}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos\varphi} \right)^n; \qquad (8.59)$$

$$\varepsilon = \frac{C \cdot K_{різ}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos\varphi}. \qquad (8.60)$$

За фізичною суттю, залежності (8.59) і (8.60) описують процес виходжування, коли знімання оброблюваного матеріалу відбувається в результаті дії пружно-відновлюваної сили. Даний процес загасаючий, оскільки інтенсивність знімання металу зменшується в міру збільшення кількості проходів свердла. За умови $n \to \infty$ справедлива умова $\Delta_n \to \Delta_{n-1}$. Із погляду теорії різання металів здійснити знімання металу в даних умовах достатньо складно у зв'язку із невеликою товщиною зрі-

зу. У результаті відношення $\sigma/К_{різ}$ буде збільшуватися в міру збільшення n, що приведе до передчасного припинення знімання металу. Щоб виключити дане явище і забезпечити знімання металу під час обробки, необхідно з кожним наступним проходом свердла збільшувати його діаметр.

Визначимо оптимальну кількість проходів свердла n за умови найменшого основного часу обробки τ, який можна виразити:

$$\tau = \frac{n \cdot L}{S} = \frac{2 \cdot n \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos\varphi}{C \cdot К_{різ}} \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}, \qquad (8.61)$$

де L – довжина оброблюваного отвору, м.

Кількість проходів свердла n неоднозначно впливає на τ, тобто існує екстремум функції τ від n. Екстремальне значення n дорівнює:

$$n = \ln\varepsilon_{сум}. \qquad (8.62)$$

Розрахунками встановлено (табл. 8.6), що зі збільшенням n сумарне уточнення $\varepsilon_{сум}$ змінюється в широких межах.

Таблиця 8.6 – Розрахункові значення сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$

n	1	2	3	4	5	6
$\varepsilon_{сум}$	2,72	7,4	20,1	54,7	148,9	405

Отже, для забезпечення заданого значення $\varepsilon_{сум}$ (навіть достатньо великого, наприклад, рівного 150) необхідно виконати всього 5 проходів свердла. Для забезпечення значень $\varepsilon_{сум} = 20 \ldots 150$, які можна реально реалізувати на практиці, достатньо виконати 3 – 4 проходи свердла, що погодиться із відомими експериментальними даними, а також з досвідом застосування механічної обробки.

Після перетворень отримане:

$$\varepsilon = e. \qquad (8.63)$$

Отже, оптимальне значення уточнення на проході свердла ε дорівнює числу $e \approx 2{,}72$. Дану умову можна виконати шляхом вибору оптимальної подачі S для заданих значень C, φ і $\sigma/К_{різ}$.

Мінімальний основний час обробки τ_{min} визначається:

$$\tau_{min} = \frac{2 \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos\varphi}{C \cdot К_{різ}} \cdot e \cdot \ln\varepsilon_{сум}. \qquad (8.64)$$

У цьому випадку τ_{min} залежить від сумарного уточнення $\varepsilon_{сум}$: чим воно більше, тим більше τ_{min}. Таким чином, отримане загальне теоре-тичне рішення визначення оптимальних умов відносно зменшення похибки обробки отвору під час розсвердлювання. Доведено, що існує оптимальна кількість проходів свердла n, за якою задану похибку обробки отвору Δ_n можна досягти за мінімальний основний час обробки τ_{min}. Установлено, що в цьому випадку уточнення на проході свердла ε повинно дорівнювати числу $e \approx 2{,}72$. Це досягається встановленням відповідної подачі S.

Отримане рішення аналогічно рішенню, наведеному в п. 8.1.5 щодо процесу зубошліфування. Тоді справедливі розрахункові дані, наведені на рис. 8.18 і в табл. 8.5.

Як витікає із табл. 8.5, у широких межах зміни n основний час обробки τ, починаючи від $n = 2$ (для $\varepsilon_{сум} = 100$) змінюється несуттєво. Отже, приймаючи кількість проходів свердла n близькою до оптимального значення, можна досягти приблизно однакового результату за основним часом обробки τ. Цим, очевидно, можна пояснити те, що на практиці рекомендується для реалізації певний діапазон зміни кількості проходів інструмента n, що забезпечує необхідну точність обробки з урахуванням досягнення найменшого основного часу обробки τ.

8.1.7. Умови зменшення похибок обробки під час розточування отворів

Під час розточування отвору величина пружного переміщення y, що виникає в технологічній системі на першому проході інструмента, визначається залежністю:

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)}, \qquad (8.65)$$

де t – глибина різання, м;

S – подача, м/об.;

$K_{різ} = P_z / P_y$;

P_y, P_z – радіальна і тангенціальна складові сили різання, Н;

C – жорсткість технологічної системи, Н/м.

Як видно, зменшити величину y можна зменшенням параметрів σ, S, t і збільшенням C і $К_{різ}$. Очевидно, зменшення подачі S та глибини різання t приводять до зменшення продуктивності обробки, що неефективно. Тому доцільно зменшувати відношення $\sigma / К_{різ}$ (яке визначає, за суттю, енергоємність обробки) і збільшувати жорсткість технологічної системи C. Зменшити відношення $\sigma / К_{різ}$ можна підвищенням ріжучої здатності інструмента (застосуванням більш твердих і зносостійких інструментальних матеріалів, а також зносостійких покриттів інструментів) і зниженням інтенсивності тертя в зоні різання.

За умови $\frac{C \cdot К_{різ}}{\sigma \cdot S} > 1$ залежність (8.65) набуде спрощеного вигляду:

$$y = \frac{\sigma \cdot Q}{C \cdot К_{різ} \cdot V}, \qquad (8.66)$$

де $Q = S \cdot t \cdot V$ – продуктивність обробки, м^3/с;

V – швидкість різання, м/с.

Як витікає із залежності (8.70), домогтися збільшення продуктивності обробки Q за заданої похибки обробки, яка обумовлена величиною пружного переміщення y, можна, в першу чергу, шляхом збільшення швидкості різання V, тобто переходом в область високошвидкісного різання. При цьому також ефективно зменшувати відношення $\sigma / К_{різ}$ і збільшувати жорсткість технологічної системи C.

За умови $\frac{C \cdot К_{різ}}{\sigma \cdot S} < 1$ фактично справедливе відношення $y \approx t$. У цьому випадку знімання металу практично відсутнє, а в технологічній системі утворюються пружні переміщення, близькі до глибини різання, що пов'язано або з низькою жорсткістю технологічної системи C або зі значним затупленням інструмента та, відповідно, збільшенням відношення $\sigma / К_{різ}$. У результаті відбувається, свого роду, копіювання вихідної похибки оброблюваної поверхні, тобто вихідна похибка обробки отворів не усувається.

У цьому випадку величина пружного переміщення y визначає точність розміру оброблюваної поверхні: чим менше y, тим вище точність. Поряд із забезпеченням точності розміру оброблюваної поверхні, під час обробки отвору важливо виконати вимоги за точністю форми

оброблюваної поверхні. У зв'язку із цим, слід аналітично визначити похибку обробки отвору у вигляді її неспіввісності, яка є одним із основних параметрів точності обробки отвору (рис. 8.20).

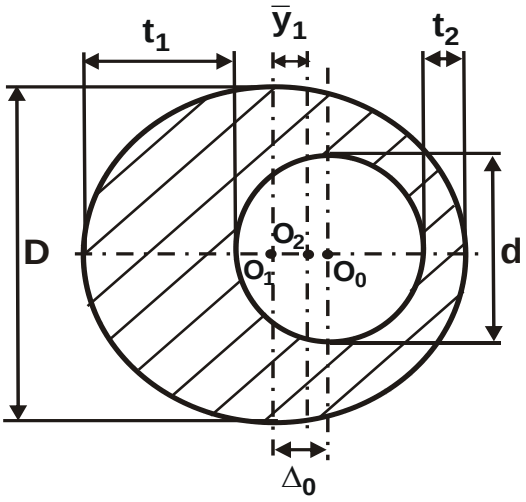


Рисунок 8.20 – Розрахункова схема визначення неспіввісності оброблюваного отвору під час розточування

Припустимо, що вихідна неспіввісність оброблюваного отвору дорівнює Δ_0 (відстані між центром вихідної окружності отвору O_0 і положенням осі інструмента до обробки O_1). Тоді величини пружних переміщень y_1 і y_2, що виникають у системі в моменти різання з найбільшою $(t+\Delta_0)$ та найменшою $(t-\Delta_0)$ глибинами різання, визначаються:

$$y_1 = \frac{(t+\Delta_0)}{\left(1+\dfrac{C\cdot K_{різ}}{\sigma\cdot S}\right)}; \tag{8.67}$$

$$y_2 = \frac{(t-\Delta_0)}{\left(1+\dfrac{C\cdot K_{різ}}{\sigma\cdot S}\right)}, \tag{8.68}$$

де $t=(D-d)/2$;

d, D – діаметри обробленого та оброблюваного отворів, м.

Неспіввісність оброблюваного отвору, яка дорівнює відстані між положеннями осі інструмента до обробки O_1 та при першому проході O_2, визначиться:

$$\bar{y}_1 = y_1 - y_2 = \frac{2\cdot\Delta_0}{\left(1+\dfrac{C\cdot K_{різ}}{\sigma\cdot S}\right)}. \tag{8.69}$$

Із залежності (8.69) витікає, що основним шляхом зменшення величини $\bar{y}_1$ є зменшення Δ_0. Інші параметри, що входять у залежність (8.69), впливають на величину $\bar{y}_1$ так само, як і на величину y в залежності (8.65). Отже, закономірності формування величин y і $\bar{y}_1$ такі самі. Відмінність полягає лише в кількісних значеннях глибини різання t та величини $2\Delta_0$, що входить у залежності (8.65) і (8.69). За умови $t > 2\Delta_0$ точність обробки отвору буде визначатися точністю розміру, а за умови $t < 2\Delta_0$, навпаки, точністю форми оброблюваного отвору.

Визначимо, наскільки зменшиться неспіввісність отвору під час другого проходу інструмента. У цьому випадку найбільша та найменша глибини різання, відповідно, виразяться: $(t + y_1)$ і $(t + y_2)$, де y_1, y_2 – величини пружних переміщень, що виникають у технологічній системі та визначаються залежностями (8.67) і (8.68). Тоді неспіввісність оброблюваного отвору під час другого проходу інструмента визначиться за залежністю, аналогічною залежності (8.69):

$$\bar{y}_2 = \frac{(t + y_1)}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)} - \frac{(t + y_2)}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)} = \frac{\bar{y}_1}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)} = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)^2}. \quad (8.70)$$

Із порівняння залежностей (8.69) і (8.70) видно, що величина $\bar{y}_2$ завжди менше величини $\bar{y}_1$, оскільки знаменник залежності (8.70) більше знаменника залежності (8.69). Отже, збільшення кількості проходів інструмента приводить до зменшення неспіввісності оброблюваного отвору.

Аналогічно залежності (8.70) можна визначити неспіввісність оброблюваного отвору, тобто величину $\bar{y}_n$ після n-го проходу інструмента:

$$\bar{y}_n = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S}\right)^n}. \quad (8.71)$$

Із залежності (8.71) витікає, що величина $\bar{y}_n$ зі збільшенням кількості проходів інструмента n зменшується за законом геометричної прогресії, тобто достатньо інтенсивно. Тому задану величину $\bar{y}_n$ можна досягти за відносно невелику кількість проходів інструмента. Однак це справедливо за умови $\frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S} > 1$. За умови $\frac{C \cdot K_{різ}}{\sigma \cdot S} < 1$ домогтися зменшення неспіввісності отвору зі збільшенням кількості проходів інстру-

мента n значно складніше, оскільки знімання металу фактично відсутнє і виправлення похибки форми отвору не відбувається – має місце копіювання вихідної похибки обробки.

Необхідно зазначити, що залежність (8.71) не містить глибину шліфування t. Отже, з однаковою ефективністю обробку можна виконувати як за схемою виходжування (тобто без поперечної подачі), так і за схемою обробки з поперечною подачею. У другому випадку забезпечується високопродуктивне знімання металу, що припускає його практичне використання. Дане рішення аналогічно рішенню, наведеному в п. 8.1.6 стосовно розсвердлювання отвору, що припускає збільшення діаметра свердла із кожним проходом. Під час розточування отвору ця умова виконується завдяки здійсненню поперечної подачі, що значно спрощує його практичну реалізацію. У цьому полягає перевага розточування порівняно із розсвердлюванням отвору.

Необхідно зазначити, що величина пружного переміщення y (що визначає точність розміру оброблюваного отвору) зі збільшенням кількості проходів інструмента n, як показано в п. 8.1.2, безупинно збільшується, асимптотично наближаючись до певного значення (рис. 8.2). Отже, з погляду підвищення точності розміру оброблюваного отвору доцільно знімання припуску виконувати за один або декілька проходів інструмента, а з погляду підвищення співвісності отвору, навпаки, необхідно збільшувати кількість проходів інструмента n.

8.1.8. Визначення оптимальних умов високошвидкісного розфрезерування та розточування отворів

На рис. 8.21 представлено розрахункову схему процесу високошвидкісного розфрезерування отвору в кільці, відповідно до якої фреза виконує обертальний і поступальний (уздовж отвору) рухи, а оброблюване кільце виконує обертальний рух. Фреза встановлюється із відхиленням відносно осі отвору, забезпечуючи необхідну глибину різання t. Знімання припуску здійснюється за схемою торцевого фрезерування. За кутом у плані ріжучого зуба фрези $\varphi = 90^{o}$ (рис. 8.21,в) товщина зрізу визначається залежністю (рис. 8.21,б):

$$a = \frac{\pi \cdot D_{дет}}{z} \cdot \frac{n_{дет}}{n_{фр}} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{фр}}}, \qquad (8.72)$$

де $D_{дет}$ – діаметр оброблюваного отвору, м;

$V_{дет} = \pi \cdot D_{дет} \cdot n_{дет}$ – швидкість обертання деталі (відносно діаметра оброблюваного отвору), м/с;

$n_{дет}$ – частота обертання деталі, об./с;

$D_{фр}$ – діаметр фрези, м;

$V_{фр} = \pi \cdot D_{фр} \cdot n_{фр}$ – швидкість обертання фрези, м/с;

$n_{фр}$ – частота обертання фрези, об./с;

t – глибина різання, м;

z – кількість зубів фрези;

$S_{кр}$ – кругова подача кільця на один зуб фрези, м/зуб.

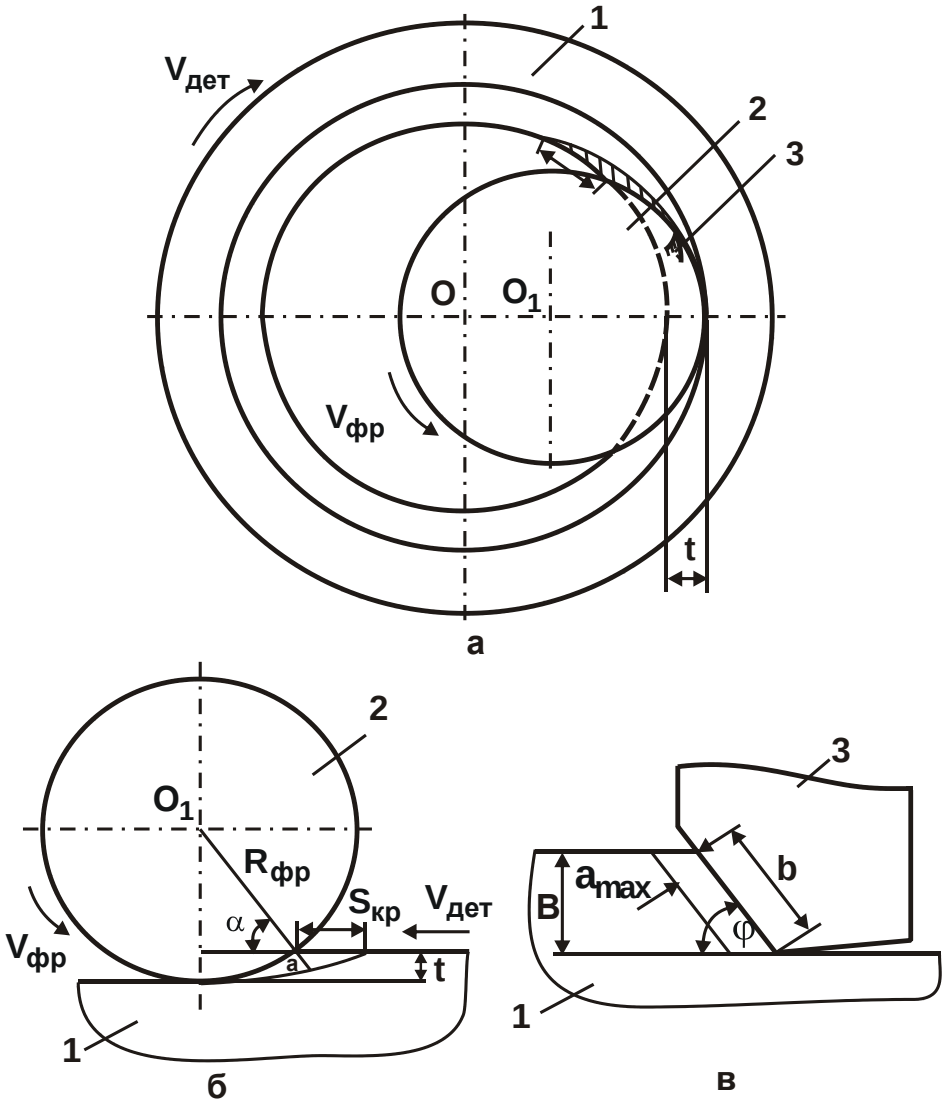


Рисунок 8.21 – Розрахункові схеми процесу розфрезерування отвору (а, б) і схема різання зубом фрези (в):
1 − оброблювана деталь (кільце); 2 − фреза; 3 − ріжучий зуб фрези

Як видно, із параметрів режиму різання на товщину зрізу a впливають параметри $V_{дет}$, t і не впливає швидкість поздовжньої подачі $S_{позд}$. Отже, завдяки збільшенню $S_{позд}$ з'являється можливість суттєвого збільшення продуктивності обробки Q без збільшення товщини зрізу a і, відповідно, зношування інструмента. Із іншої сторони, за заданої продуктивності обробки завдяки збільшенню $n_{фр}$ можна суттєво зменшити товщину зрізу a, що визначає зменшення сили різання та підвищення точності та якості оброблюваних поверхонь.

Продуктивність обробки Q визначається залежністю:

$$Q = \pi \cdot D_{дет} \cdot t \cdot S_{позд} = \left(\frac{a \cdot z \cdot n_{фр}}{2 \cdot n_{дет}} \right)^2 \cdot \frac{D_{фр} \cdot S_{позд}}{\pi \cdot D_{дет}} \ . \qquad (8.73)$$

Із залежності (8.73) витікає, що збільшити продуктивність обробки Q можна збільшенням параметрів $n_{фр}$, $S_{позд}$ і зменшенням $n_{дет}$. При цьому параметри $n_{фр}$ і $n_{дет}$ більшою мірою впливають на продуктивність обробки Q, ніж поздовжня подача $S_{позд}$. Суттєвого збільшення продуктивності обробки Q можна домогтися також завдяки збільшенню товщини зрізу a шляхом підвищення міцності ріжучої частини інструмента. Для порівняння визначимо товщину зрізу a під час розточування отвору різцем із кутом у плані $\varphi = 90^o$:

$$a = \pi \cdot D_{дет} \cdot \frac{S_{позд}}{V_{дет}} . \qquad (8.74)$$

У дану залежність із параметрів режиму різання входять $V_{дет}$ і $S_{позд}$, а глибина різання t – не входить. Отже, завдяки збільшенню t можна суттєво збільшити продуктивність обробки

$$Q = a \cdot V_{дет} \cdot t \qquad (8.75)$$

без збільшення товщини зрізу a і, відповідно, зношування інструмента. Зменшити товщину зрізу a і, відповідно, силу різання (за заданою продуктивністю обробки Q) можна збільшенням $V_{дет}$. Із порівняння залежностей (8.72) і (8.74) видно, що розфрезерування отвору характеризується більшими можливостями з погляду зменшення товщину зрізу a.

Продуктивність обробки Q тим більше, чим більше всі вхідні в залежність (8.75) параметри. У цьому випадку швидкість деталі $V_{дет}$

необхідно збільшувати, тоді як під час високошвидкісного роз фрезерування отвору, відповідно до залежності (8.73), її необхідно, навпаки, зменшувати.

Із порівняння залежностей (8.73) і (8.75), видно, що високошвидкісне розфрезерування отвору характеризується більшими технологічними можливостями з погляду підвищення продуктивності обробки, оскільки всі основні параметри режиму різання ($n_{фр}$, $n_{дет}$ і a) входять у залежність (8.73) у другому ступені. Отже, навіть невелика зміна цих параметрів приводить до суттєвого збільшення продуктивності обробки Q. На рис. 8.22 показано основні умови підвищення продуктивності Q під час високошвидкісної обробки отворів.

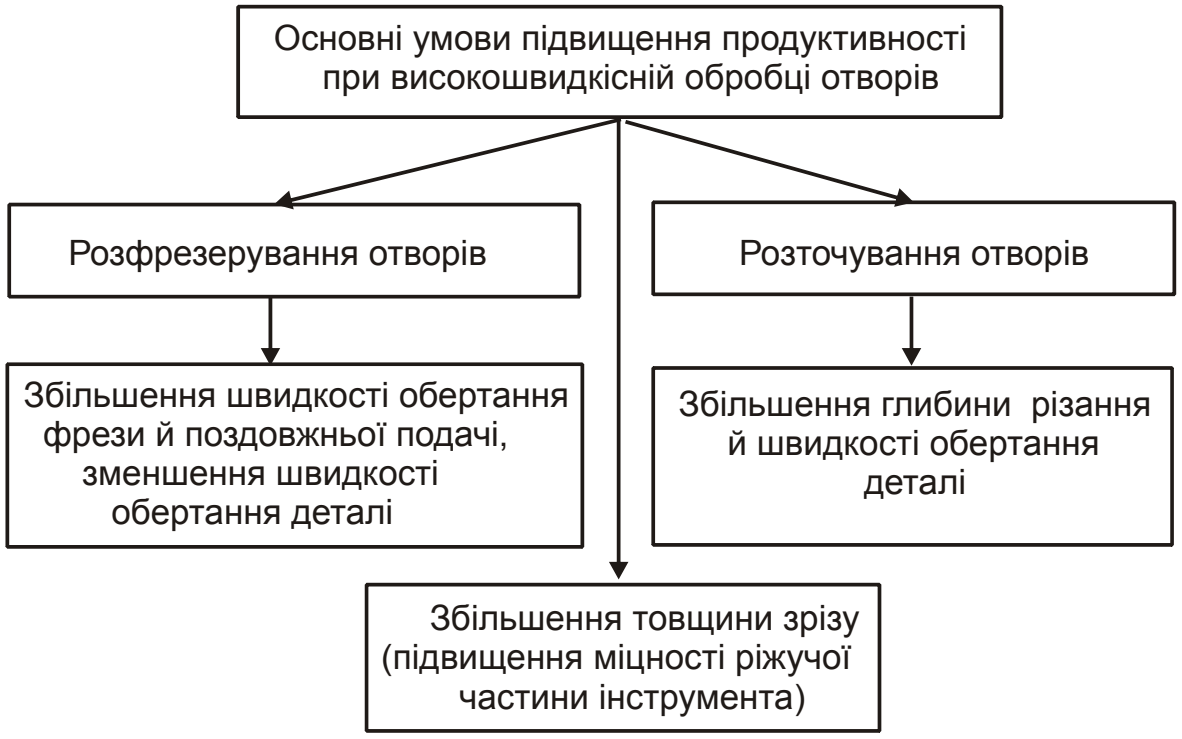


Рисунок 8.22 – Структурна схема основних умов підвищення продуктивності Q при високошвидкісній обробці отворів

Поряд зі збільшенням продуктивності, застосування високошвидкісної обробки отворів дозволяє зменшити сили різання та підвищити точність оброблюваної поверхні. Це витікає із залежностей для визначення тангенціальної $P_z = \sigma \cdot S$ і радіальної $P_y = \sigma \cdot F / K_{різ}$ складових сили різання, де $F = Q / V$ – площа поперечного перетину зрізу, м^2; V – швидкість різання (для розточування $V = V_{дет}$, для розфрезерування

отвору $V = V_{фр}$). Як видно, зі збільшенням швидкості різання V (за заданої продуктивності обробки Q) складові сили різання безупинно зменшуються, викликаючи зменшення величини пружного переміщення y в технологічній системі та, відповідно, похибок обробки. Із цього витікає, що застосування високошвидкісної обробки є основним напрямом підвищення точності та продуктивності обробки отворів.

8.2. Теоретичні основи високоякісної бездефектної обробки деталей машин

8.2.1. Розроблення теоретичного підходу до визначення параметрів теплового процесу під час механічної обробки

У відомих теоретичних рішеннях для визначення теплової напруженості процесу шліфування розглядаються закономірності поширення тепла лише в оброблювану деталь, а тепло, що надходить до стружок, пропонується враховувати за допомогою поправочного коефіцієнта, який носить емпіричний характер [99]. Тому, для більш глибокого дослідження теплових процесів під час шліфування і визначення умов підвищення якості обробки необхідно встановити функціональні зв'язки між температурою шліфування і кількістю тепла, що надходить, відповідно, до стружок і оброблювану деталь.

Для цього розроблено математичну модель визначення температури шліфування, яку засновано на урахуванні балансу тепла, що надходить до стружок і оброблювану деталь. У розрахунковій схемі, показаній на рис. 8.23, припуск на обробку (за аналогією із роботами професора Якимова О. В.) представлено пакетом нескінченно тонких адіабатичних стержнів, які в процесі шліфування перерізуються із швидкістю $V_{різ}$. Для виконання розрахунків прийнято, що за час дії теплового джерела τ відбулося перерізання стержня довжиною l_1, тобто теплове джерело перемістилося уздовж стержня на величину $l_1 = V_{різ} \cdot \tau$, і за цей час у результаті різання виділено кількість тепла Q. Це тепло, по-перше, пішло на нагрівання стружок, що утворюються, тобто ділянки стержня довжиною l_1 (витрачено кількість тепла Q_1), по-

друге, на нагрівання ділянки стержня довжиною l_2 завдяки теплопровідності оброблюваного матеріалу (витрачено кількість тепла Q_2). Тому рівняння балансу тепла $Q = Q_1 + Q_2$ представлено у вигляді диференціального рівняння, у якому перемінною величиною є температура шліфування $\theta = \theta(\tau)$:

$$\frac{d\theta}{d\tau} \cdot \theta + A \cdot \theta = B, \qquad (8.76)$$

де $A = \dfrac{V_{різ} \cdot N}{\lambda \cdot S}$;

$B = \dfrac{N^2}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot S^2}$;

N − потужність теплового джерела, Вт;

λ − коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/м·К;

c − питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·К);

ρ − щільність оброблюваного матеріалу, кг/м^3;

S − площа поперечного перетину адіабатичного стержня, м^2.

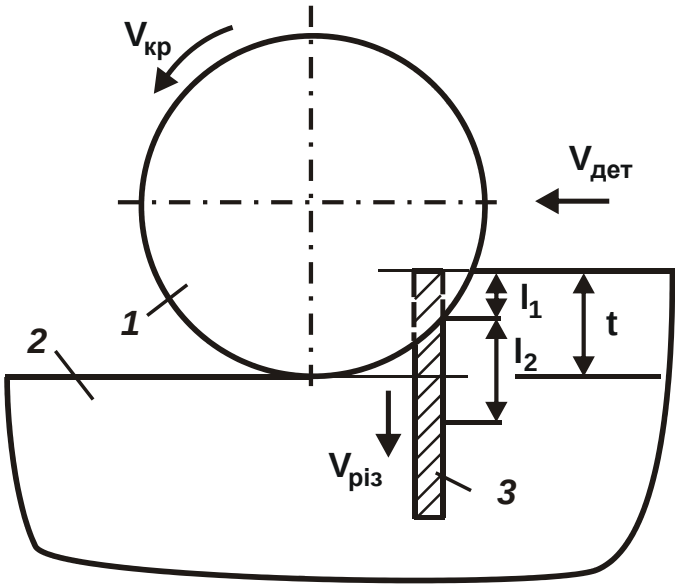


Рисунок 8.23 – Розрахункова схема процесу шліфування:
1 – шліфувальний круг; 2 – оброблювана деталь;
3 – адіабатичний стержень

Рішення диференціального рівняння за умови $\theta(\tau = 0) = 0$:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{piз}^2}{\lambda} \cdot \tau} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho}{\sigma} \cdot \theta} \right] = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{piз}}{\lambda} \cdot l_1} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho}{\sigma} \cdot \theta} \right] \qquad (8.77)$$

або у відносних величинах:

$$l_1 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{piз}} \cdot \bar{l}_1; \qquad \bar{l}_1 = -\ln(1 - z) - z; \qquad z = \frac{\theta}{\left(\frac{\sigma}{c \cdot \rho} \right)}, \qquad (8.78)$$

де z – відносна величина температури;

$\sigma = q / V_{piз}$ – умовне напруження різання, Н/м^2;

q – щільність теплового потоку, Вт/м^2.

Із залежності (8.78) витікає, що відносна величина температури z зі збільшенням довжини стержня $l_1 = V_{piз} \cdot \tau$ (або часу τ контакту шліфувального круга із стержнем) збільшується приблизно за експонентним законом, асимптотично наближаючись до одиниці (рис. 8.24). Це указує на існування сталого в часі теплового процесу, виникаючого під час шліфування, який реалізується за відносно великих значень $\bar{l}_1$ (або τ), наприклад, в умовах глибинного шліфування.

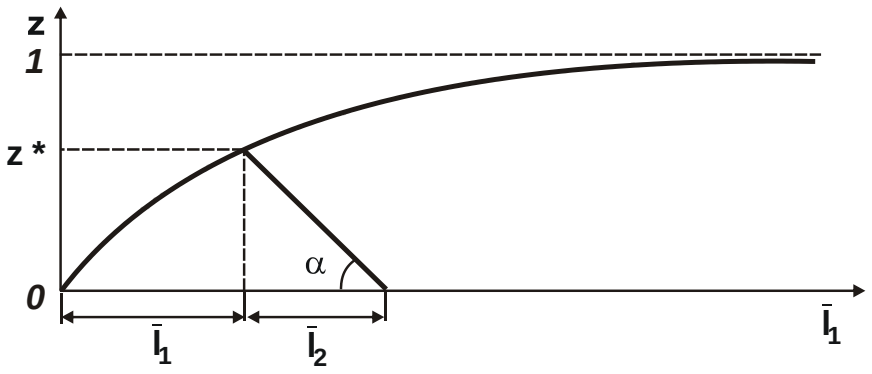


Рисунок 8.24 – Залежність z від $\bar{l}_1$

Дане рішення є принципово новим, оскільки, відповідно відомому теоретичному рішенню, в якому не враховується функціонально кількість тепла, що надходить до стружок ($Q_1 = 0$), а враховується лише кількість тепла, що надходить до оброблюваної деталі, відносна величина температури z необмежено збільшується зі збільшенням часу (відносної величини $\bar{\tau} = z^2 / 2$), рис. 8.25.

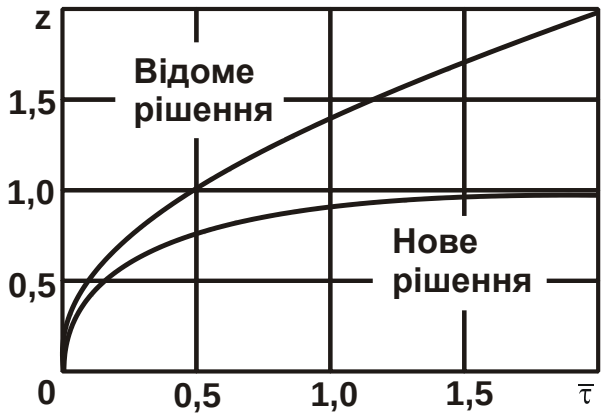


Рисунок 8.25 – Залежність z від $\bar{\tau}$

За умови $z<1$ розбіжність результатів розрахунків, отриманих із використанням нового і відомого рішень, незначна (до 1,5 разів), а за умови $z\to 1$ – значна, що вимагає застосування для розрахунків більш точного нового рішення.

Безрозмірну величину $\bar{l}_1=-\ln(1-z)-z$ протабульовано (табл. 8.7), що дозволяє достатньо просто за відомим значенням $\bar{l}_1$ встановити відносну величину температури z.

Таблиця 8.7 – Розрахункові значення z, $\bar{l}_1$ та $\bar{l}_1/z$

№ з/п	$-\ln(1-z)$	$(1-z)$	z	$\bar{l}_1$	$\bar{l}_1/z$
1	2	3	4	5	6
1	0	1,0	0	0	0
2	0,01	0,99	0,01	0	0
3	0,02	0,9802	0,0198	0,0002	0,0101
4	0,03	0,9704	0,0296	0,0004	0,0135
5	0,04	0,9808	0,0392	0,0008	0,0204
6	0,05	0,9512	0,0488	0,0012	0,0246
7	0,06	0,9418	0,0582	0,0018	0,03093
8	0,07	0,9324	0,0676	0,0024	0,0355
9	0,08	0,9231	0,0769	0,0031	0,04031
10	0,09	0,9139	0,0861	0,0039	0,04530
11	0,1	0,9048	0,0952	0,0048	0,05042
12	0,11	0,8958	0,1042	0,0058	0,05566
13	0,12	0,8869	0,1131	0,0069	0,06101
14	0,13	0,8781	0,1219	0,0081	0,06645
15	0,14	0,8694	0,1306	0,0094	0,07198
16	0,15	0,8607	0,1393	0,0107	0,07681
17	0,16	0,8521	0,1479	0,0121	0,08181
18	0,17	0,8437	0,1563	0,0157	0,08765
19	0,18	0,8353	0,1647	0,0153	0,09289
20	0,19	0,8270	0,1730	0,017	0,09826

Продовження табл. 8.7

1	2	3	4	5	6
21	0,2	0,8187	0,1813	0,0187	0,10314
22	0,22	0,8025	0,1975	0,0225	0,1139
23	0,24	0,7866	0,2134	0,0266	0,1246
24	0,26	0,7711	0,2285	0,0311	0,1361
25	0,28	0,7558	0,2442	0,0358	0,1466
26	0,3	0,7408	0,2592	0,0408	0,1574
27	0,35	0,7047	0,2953	0,0547	0,1852
28	0,45	0,6376	0,3624	0,0876	0,2097
29	0,55	0,5769	0,4231	0,1269	0,29993
30	0,65	0,522	0,478	0,172	0,3598
31	0,75	0,4724	0,5278	0,2224	0,4214
32	0,85	0,4274	0,5726	0,2774	0,4844
33	0,95	0,3867	0,6133	0,3367	0,549
34	1,05	0,3499	0,6501	0,3999	0,6151
35	1,15	0,3166	0,6834	0,4666	0,6828
36	1,25	0,2865	0,7135	0,5365	0,7519
37	1,35	0,2592	0,7408	0,6092	0,8224
38	1,45	0,2346	0,7654	0,6846	0,8944
39	1,55	0,2122	0,7878	0,7622	0,9675
40	1,65	0,1920	0,8080	0,8420	1,0421
41	1,75	01738	0,8262	0,9238	1,1181
42	1,85	0,1572	0,8428	1,0072	1,1951
43	1,95	0,1423	0,8577	1,0923	1,2735
44	2,05	0,1287	0,8713	1,1787	1,3528
45	2,15	0,1165	0,8839	1,2665	1,4328
46	2,25	0,1054	0,8946	1,3554	1,5151
47	2,35	0,09537	0,9046	1,4453	1,5977
48	2,45	0,08629	0,91371	1,53629	1,6814
49	2,55	0,07808	0,92192	1,628	1,7659
50	2,65	0,07065	0,92935	1,72065	1,8514
51	2,75	0,06393	0,93607	1,81393	1,9378
52	3,0	0,04979	0,95021	2,04979	2,1572

На основі отриманого рішення визначено основні параметри теплового процесу під час шліфування: довжину стержня l_2, що дорівнює товщині поверхневого шару оброблюваної деталі, у якому концент-

рується тепло; миттєву швидкість V_θ поширення тепла вглиб розглянутого адіабатичного стержня; частки тепла Q_1/Q і Q_2/Q, яке надходить, відповідно, до стружок і в оброблювану деталь:

$$l_2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{різ}} \cdot \bar{l}_2; \qquad \bar{l}_2 = z; \qquad V_\theta = V_{різ} + \frac{dl_2}{d\tau} = \frac{V_{різ}}{z}; \qquad (8.79)$$

$$\frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}; \qquad \frac{Q_2}{Q} = \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}. \qquad (8.80)$$

Із наведених залежностей витікає, що довжина стержня l_2 змінюється за законом зміни відносної величини температури z (рис. 8.26, табл. 8.8). Миттєва швидкість V_θ, навпаки, зі збільшенням z безупинно зменшується, асимптотичне наближаючись до значення $V_{різ}$.

Таблиця 8.8 – Розрахункові значення безрозмірних величин $\bar{l}_1$, $\bar{l}_2$ і $\bar{l}_2 / \bar{l}_1$

z	0,091	0,167	0,333	0,5	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
$\bar{l}_1$	0,004	0,015	0,072	0,193	1,047	1,4	2,005	3,6	6,0
$\bar{l}_2$	0,091	0,167	0,333	0,5	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
$\bar{l}_2 / \bar{l}_1$	22,75	11,13	4,625	2,59	0,818	0,643	0,495	0,278	0,167

Відносні величини Q_1/Q і Q_2/Q визначаються лише одним параметром – відносною величиною температури z (рис. 8.26).

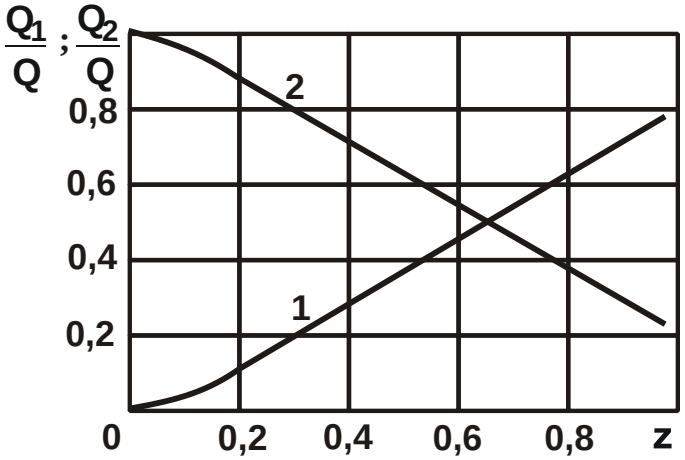


Рисунок 8.26 – Залежності величин Q_1/Q (1) і Q_2/Q (2) від величини z

Таким чином, зменшення величини z припускає зменшення Q_1/Q і збільшення Q_2/Q завдяки зменшенню добутку параметрів $l_1 \cdot V_{різ}$ відповідно до залежності (8.78). Цим показано, що розподіл тепла між стружками, що утворюються, і поверхневим шаром оброблюваної деталі обумовлено температурою шліфування.

Це погодиться із результатами експериментальних досліджень різних процесів механічної обробки, наведених у науково-технічній літературі. Наприклад, із відомими експериментальними даними професора Данієляна А. М., згідно яким зі збільшенням швидкості різання і, відповідно, температури різання під час точіння, частка тепла, що надходить до стружку, збільшується, асимптотично наближаючись до значення 80 %, а частка тепла, що надходить до оброблюваної деталі, навпаки, зменшується до значення 20 %.

На основі проведеного теоретичного аналізу сформульовано основні умови зменшення температури шліфування θ (рис. 8.27), які полягають у зменшенні умовного напруження різання σ і параметра l_1 (рівного глибині шліфування) та $V_{різ}$. Також отримано залежність, що дозволяє в явному вигляді виразити відносну величину температури z через параметри теплового процесу шліфування:

$$z = 1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{різ}}{\lambda} \cdot (l_1 + l_2)} = 1 - e^{-(\bar{l}_1 + \bar{l}_2)}. \qquad (8.81)$$

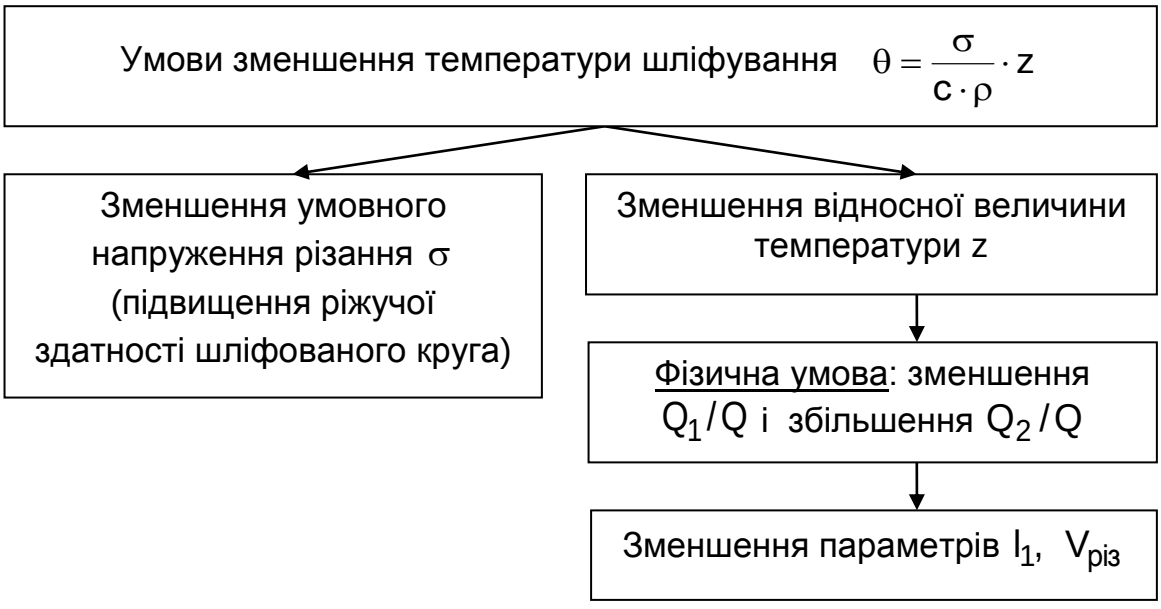


Рисунок 8.27 – Схема умов зменшення температури шліфування θ

Установлено, що відносна величина температури z цілком однозначно визначається сумарною довжиною ділянки стержня ($l_1 + l_2$), до якої надійшло тепло. Чим менше ця величина, тим менше відносна величина температури z і, відповідно, температура шліфування θ.

Наведені залежності (8.79) – (8.81) дозволяють визначити умови зменшення температури під час механічної обробки. Очевидно, найбільша температура під час плоского шліфування досягається за умови $l_1 = t$ (рис. 8.23), тобто в момент виходу шліфувального круга із контакту із розглянутим адіабатичним стержнем. Тоді залежність (8.78) набуде вигляду:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{пит} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \bar{l}_1 \qquad (8.82)$$

де t – глибина шліфування, м;

$Q_{пит} = t \cdot V_{дет}$ – питома продуктивність обробки, м^3/(м· с);

$V_{дет}$ – швидкість деталі, м/с;

$R_{кр}$ – радіус круга, м.

На основі отриманих залежностей проведено кількісне оцінювання основних параметрів теплового процесу під час плоского багатопрохідного ($t_1 = 0{,}01 \cdot 10^{-3}$ м) і глибинного ($t_2 = 10^{-3}$ м) шліфування важкооброблюваного матеріалу – твердого сплаву ВК8, яке здійснюється із достатньо високою питомою продуктивністю обробки $Q_{пит} = 600$ мм^3/(мм·хв), табл. 8.9.

Таблиця 8.9 – Розрахункові значення параметрів τ, $V_{різ}$, $\bar{l}_1$, Z, θ, $\frac{Q_1}{Q}$, $\frac{Q_2}{Q}$, $\frac{Q_2}{Q_1}$, $\frac{\bar{l}_1}{\bar{l}_2}$, V_θ, $\frac{V_\theta}{V_{різ}}$

($\lambda = 50$ Вт/(м·К); $c = 175{,}9$ Дж/(кг·К); $\rho = 15 \cdot 10^3$ кг/м^3; $2 \cdot R_{кр} = 0{,}3$ м)

Вид шліфування	$\tau \cdot 10^{-2}$, с	$V_{різ} \cdot 10^{-3}$, м/с	$\bar{l}_1 \cdot 10^{-2}$	$Z \cdot 10^{-2}$	θ, К	$\frac{Q_1}{Q}$	$\frac{Q_2}{Q}$	$\frac{Q_2}{Q_1}$	$\frac{\bar{l}_1}{\bar{l}_2}$	$V_\theta \cdot 10^{-3}$, м/с	$\frac{V_\theta}{V_{різ}}$
Багатопрохідне	0,17	5,8	0,3	7,7	466	0,05	0,95	19,0	0,04	75,4	13
Глибинне	173	0,58	3	22,8	1385	0,16	0,84	5,25	0,14	2,55	4,4

Із табл. 8.9 витікає, що відносна величина температури z приймає невеликі значення, значно менше одиниці. Це указує на те, що для даних умов шліфування має місце несталий тепловий процес.

Таблиця 8.10 – Розрахункові значення параметрів τ, l_2, θ для $\sigma = 16 \cdot 10^9$ Н/м^2

Вид шліфування	τ, с	$l_2 \cdot 10^{-3}$, м	θ, К
багатопрохідне	0,28	3,27	6064
глибинне	28,2	32,67	6064

Параметри сталого теплового процесу ($z \to 1$), які описуються залежностями:

$$\tau = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{різ}^2}; \quad l_2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{різ}}; \quad \theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}; \quad V_{різ} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}, \quad (8.83)$$

для розглянутих умов обробки приймають достатньо великі значення (табл. 8.10), не властиві процесу шліфування. Отже, практично неможливо здійснити сталий тепловий процес під час шліфування важкооброблюваного твердого сплаву. Він може бути реалізований в умовах шліфування більш "м'яких" матеріалів, наприклад, сталей. Це підтверджується експериментальними даними професора Силіна С. С., отриманими під час високопродуктивного плоского глибинного абразивного шліфування сталей і жароміцних сплавів: зі збільшенням глибини шліфування і швидкості деталі температура шліфування спочатку збільшується, потім стабілізується. Такий же характер зміни температури встановлений нами теоретично (рис. 8.28).

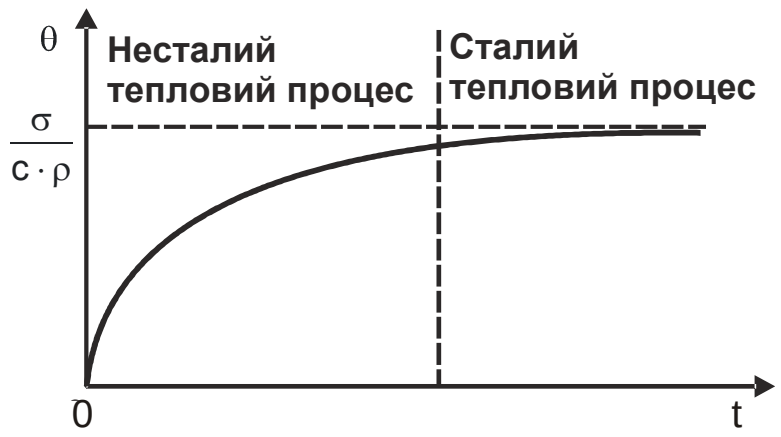


Рисунок 8.28 – Залежність θ від t

Із цього витікає, що реалізація сталого теплового процесу під час шліфування відкриває нові можливості суттєвого збільшення продуктивності обробки без збільшення температури і погіршення якості оброблюваних поверхонь. Однак для цього необхідно забезпечити під час шліфування задану температуру, що виключає утворення температурних дефектів на оброблюваній поверхні. Це досягається, головним чином, завдяки зменшенню умовного напруження різання σ у відповідності із залежністю:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{ст}}{К_{різ}}, \qquad (8.84)$$

де $\sigma_{ст}$ – межа міцності оброблюваного матеріалу на стиск, Н/м^2;

$К_{різ} = P_z / P_y$ – коефіцієнт різання;

P_z, P_y – тангенціальна і радіальна складові сили різання, Н.

Із залежності (8.84) витікає, що умовне напруження різання σ тим менше, чим більше коефіцієнт різання $К_{різ}$. Тому з метою зменшення температури поверхневого шару оброблюваної деталі ефективно переходити від шліфування до лезової обробки, наприклад, до тонкого точіння, що характеризується більшими значеннями $К_{різ}$ (оскільки під час шліфування $К_{різ} < 1$, а під час лезової обробки $К_{різ} > 1$). Виходячи із цього, на основі залежності (8.78) із урахуванням відношень $l_1 = a$ і $V_{різ} = V \cdot tg\beta$ визначено відносну величину температури z під час поздовжнього точіння:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot a \cdot V \cdot tg\beta = \bar{l}_1 = -\ln(1 - z) - z, \qquad (8.85)$$

де a – товщина зрізу, м;

V – швидкість різання, м/с;

β – умовний кут відколювання оброблюваного матеріалу.

Як видно, безрозмірна величина $\bar{l}_1$ і, відповідно, відносна величина температури z однаковою мірою залежать від товщини зрізу a і швидкості різання V. Із їхнім збільшенням відносна величина температури z спочатку збільшується, потім стабілізується (табл. 8.7). Кількісними розрахунками встановлено, що під час точіння, на відміну від процесу шліфування, умова $z \to 1$ виконується в широкому діапазоні режимів різання, які реалізуються на практиці. Отже, під час точіння ти-

повою залежністю, що визначає характер зміни температури різання від швидкості різання V, є залежність, показана на рис. 8.28. Таку саме залежність установлено експериментально професором Данієляном А. М. і професором Лоладзе Т. М. під час дослідження процесу точіння, а також інших видів лезової обробки.

Реалізація сталого теплового процесу під час точіння забезпечує суттєве збільшення питомої продуктивності обробки $Q_{пит} = a \cdot V$ без збільшення температури різання і, відповідно, погіршення якості оброблюваних поверхонь, що є важливим резервом підвищення ефективності фінішної механічної обробки. Цим теоретично обґрунтовано можливість застосування за певних умов процесу точіння замість шліфування із погляду підвищення якості та продуктивності обробки.

У роботі визначено умови зменшення довжини стержня l_2 (рис. 8.23), у якому концентрується тепло, що виділяється під час шліфування, і який визначає товщину дефектного поверхневого шару обробленої деталі, викликану температурним чинником. Виходячи із залежності (8.79), за заданої (критичної) температури шліфування, яка обумовлена відносною величиною температури z, зменшити параметр l_2 можна лише зменшенням швидкості $V_{різ} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \frac{Q_{пит}}{\sqrt{2 \cdot t \cdot R_{кр}}}$, тобто зменшенням глибини шліфування t і, відповідно, збільшенням швидкості деталі $V_{дет}$ за умови $Q_{пит} = V_{дет} \cdot t = const$ (застосуванням багатопрохідного шліфування). Під час глибинного шліфування ($z \to 1$) також можна зменшити параметр l_2 шляхом збільшення питомої продуктивності обробки $Q_{пит}$. У цьому випадку практично все тепло, що утворюється під час шліфування, як витікає із залежності (8.80), надходить до стружок. В оброблювану деталь надходить невелика частка тепла. Цим, властиво, і пояснюється основний фізичний ефект глибинного шліфування, який полягає в можливості високоякісної обробки із одночасним підвищенням продуктивності.

У роботі отримано нове аналітичне рішення, що визначає умову суттєвого зменшення параметра l_2. Його сутність полягає в не обхідності обмеження меж зміни параметра l_2 величиною припуску $П$, що знімається, тобто в забезпеченні таких умов обробки, за яких параметр l_2 формувався б "усередині" шару припуску $П$. Для цього аналітично

описано характер зміни глибини шліфування із часом обробки (за проходами круга). Показано, що для виконання цієї умови глибину шліфування необхідно змінювати за законом нескінченно убутної геометричної прогресії, рис. 8.29 (де $z_1 = \theta/(2\cdot\theta^*)$, $\theta^* = \dfrac{\sigma}{c\cdot\rho}$ – максимально можлива температура, К; θ – задана температура, К ($\theta < \theta^*$)). Аналітично встановлено, що за таким же законом зменшується і фактична глибина шліфування під час виходжування, тобто під час шліфування із від-ключеною радіальною подачею. Тому за умови рівності знаменників двох прогресій визначено оптимальну швидкість деталі $V_{дет}$, за якої можлива реалізація умови суттєвого зменшення параметра $l_2 \to 0$:

$$V_{дет} = \left(\frac{2\theta^*}{\theta} - 1\right)\cdot\frac{C\cdot K_ш}{\sigma}\cdot\frac{V_{кр}}{B}, \qquad (8.86)$$

де C – жорсткість технологічної системи, Н/м;
B – ширина шліфування, м.

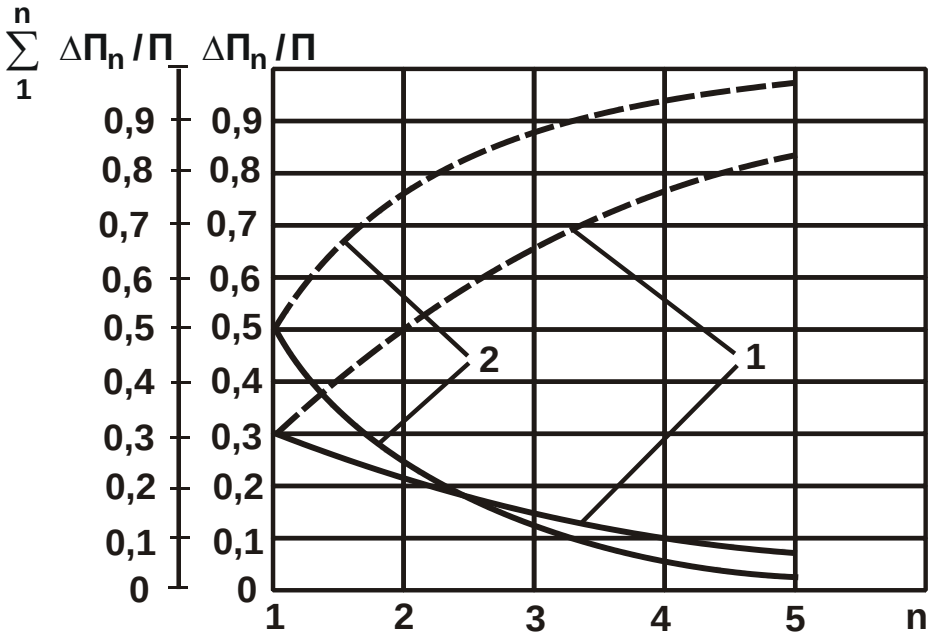


Рисунок 8.29 – Характер зміни відношення величини припуску, що знімається на кожному проході круга, до загального припуску $\Delta П_n / П$ (суцільна лінія) і відносного значення знятого припуску $\sum_1^n \Delta П_n / П$ (пунктирна лінія) залежно від кількості проходів круга n для $z_1 = 0{,}3$ (1) і $z_1 = 0{,}5$ (2)

Залежність (8.86) встановлює зв'язок між температурою шліфування θ і умовами обробки. За заданим значенням θ за залежністю (8.86) можна визначити відповідну їй швидкість деталі $V_{дет}$. Як видно, чим більше θ, тим менше повинна бути швидкість деталі $V_{дет}$. Збільшенню $V_{дет}$ також сприяють підвищення ріжучої здатності шліфувального круга (збільшення коефіцієнта шліфування $K_ш$ і зменшення умовного напруження різання σ), збільшення параметрів c_1, $V_{кр}$ і зменшення B.

При цьому встановлено, що із фізичної точки зору параметр l_2 дорівнює величині пружного переміщення y_n, що виникає в технологічній системі під час виходжування (тобто похибці розміру обробки). Зменшення величини y_n до значень 0 ... 10 мкм із часом обробки приводить автоматично до зменшення параметра l_2 (товщини дефектного шару обробленої деталі) у тих же межах. Цим показане, що застосування схеми виходжування під час шліфування дозволяє домогтися зменшення товщини дефектного шару оброблюваної деталі, який нескладно усунути на наступній операції доведення.

Для оцінювання достовірності отриманих теоретичних рішень проведено експериментальні дослідження твердості (за Віккерсом) поверхні та товщини дефектного шару обробленої деталі (накладного диска із загартованої сталі ШХ15 – відповідальної деталі пари тертя "підп'ятник – накладний диск" аксіально-поршневого насоса) під час плоского шліфування абразивним кругом 1А1 450×63×203 24А40СМ1К6 (рис. 8.30,а). У результаті проведених досліджень встановлено значне зниження твердості поверхні (в 1,63 рази) зі збільшенням глибини шліфування в межах 0,01 – 0,2 мм, що указує на необхідність суттєвого обмеження глибини шліфування у зв'язку із температурним чинником.

Таким чином, забезпечити твердість обробленої поверхні, близьку до вихідного значення, і, одночасно, відносно високу продуктивність обробки можна завдяки виконанню операції плоского шліфування в три переходи (попереднє та остаточне шліфування і наступне виходжування). Для цього на першому переході необхідно реалізуватии максимально можливу продуктивність обробки, а на другому і третьому переходах – забезпечити повне видалення дефектного шару оброблюваної деталі, що утворився на першому переході.

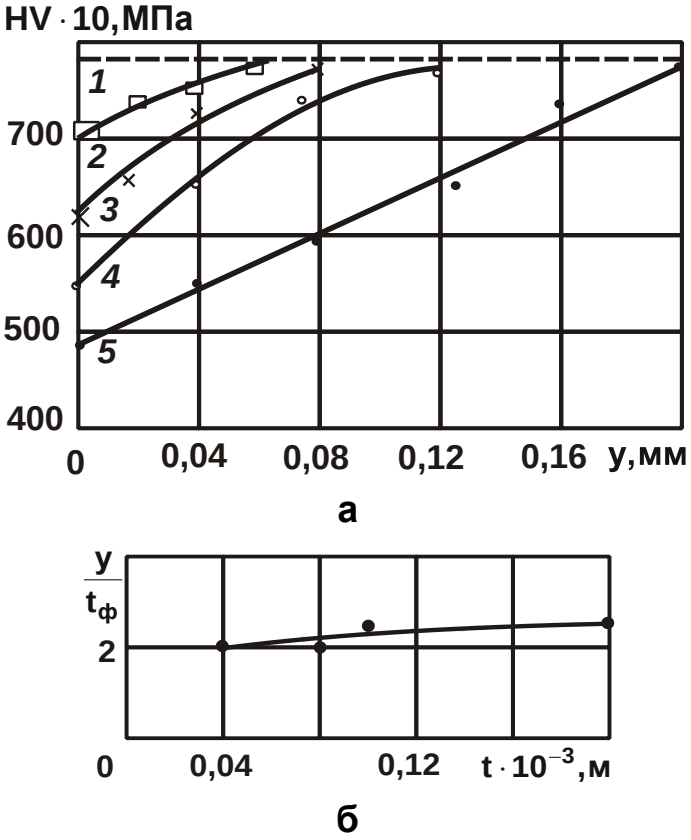


Рисунок 8.30 – Характер зміни твердості HV (а) за глибиною дефектного шару деталі після її обробки із різними глибинами шліфування t (1 – вихідна твердість до шліфування; 2 – $t = 0{,}04$ мм; 3 – $t = 0{,}08$ мм; 4 – $t = 0{,}1$ мм; 5 – $t = 0{,}2$ мм) та залежність відношення $y / t_ф$ від глибини шліфування t (б)

Експериментально встановлено зв'язок (рис. 8.30,б) фактичної глибини шліфування $t_ф$ (обумовленої пружними переміщеннями в технологічній системі) і товщини дефектного шару деталі після її шліфування (величини y, за якою твердість HV дорівнює вихідній твердості деталі до обробки) і обґрунтовано умову суттєвого зменшення товщини дефектного шару під час виходжування: $l_2 / t = t / t_ф$. Цим підтверджене отримане в роботі теоретичне рішення щодо ефективності застосування процесу виходжування для видалення дефектного шару деталі, що утворюється під час шліфування.

На основі аналітичних залежностей (8.82) і $l_2 = t \cdot z / \bar{l}_1$ визначено параметри z, l_2 / t і l_2 (рис. 8.31) для плоского шліфування деталі із загартованої сталі ШХ15 (коефіцієнт температуропровідності сталі

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = 8{,}4 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; $\lambda = 42$ Вт/м·°С; $R_{кр} = 0{,}225$ м; $V_{дет} = 30$ м/хв). Теоретичні результати погодяться із експериментальними даними, наведеними на рис. 8.30,б. Це указують на те, що відношення $y / t_ф$ (відповідне відношенню l_2 / t) завжди більше одиниці. Отже, для даних умов шліфування відносна величина температури z менше значення 0,8. Спостережуване розходження експериментальних значень товщини дефектного шару y і розрахункових значень товщини шару l_2, у якому концентрується тепло, що утворюється під час шліфування, указує на те, що умови формування дефектного шару деталі під час шліфування підкоряються більш складним фізичним законам і не можуть бути однозначно описані параметром l_2.

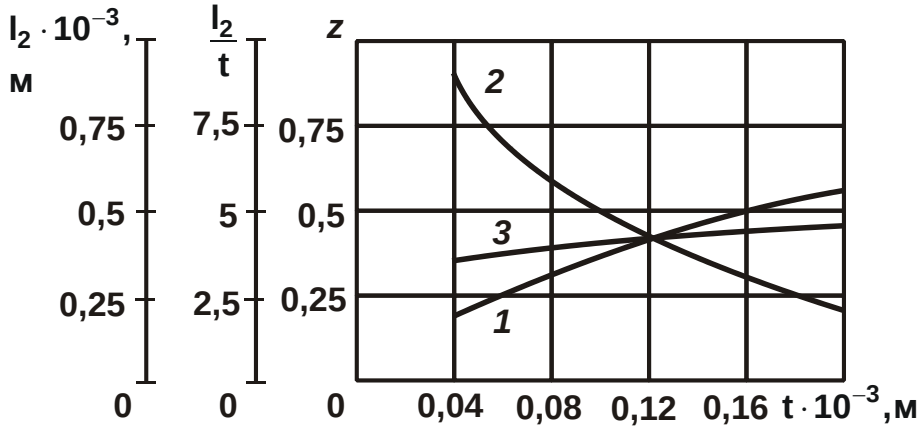


Рисунок 8.31 – Характер зміни розрахункових значень z (1), відношення l_2 / t (2) і параметра l_2 (3) залежно від глибини шліфування t

Експериментально встановлено значення потужності та продуктивності шліфування, що дозволило розрахунково-експериментальним методом визначити (табл. 8.11) умовне напруження різання σ і температуру θ під час плоского шліфування загартованої сталі ШХ15 із урахуванням значень z, наведених на рис. 8.34.

Таблиця 8.11 – Значення z, σ і θ ($V_{дет} = 30$ м/хв)

t, мм	0,04	0,08	0,12	0,2
z	0,19	0,3	0,4	0,55
$\sigma \cdot 10$, МПа	1333	1000	889	800
θ °С	506	600	711	880

Встановлено, що в момент появи припікання на оброблюваній поверхні ($t = 0{,}2$ мм) температура шліфування θ набуває значення 880 °С, а найбільше значення θ (за умови $z = 1$) дорівнює 1600 °С, що приблизно відповідає температурі плавлення сталі ШХ15. Отже, під час плоского шліфування загартованої сталі ШХ15, на відміну від шліфування твердого сплаву, може бути реалізовано сталий тепловий процес із відносною величиною температури $z \to 1$. Це погодиться із основними положеннями розробленої математичної моделі визначення температури шліфування.

8.2.2. Вибір раціональної структури і параметрів операцій механічної обробки за температурним критерієм

На першому етапі дослідження аналітично визначено миттєву і середню температури шліфування та глибину проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі. Це дозволило обґрунтувати технологічні закономірності формування параметрів якості під час абразивної і лезової обробок та здійснити вибір раціональної структури і параметрів операцій. Рішення базуються на розрахункових схемах мікрорізання окремим зерном (різцем) і шліфування (рис. 8.32). Загальним у цих схемах є те, що припуск на обробку умовно подано безліччю нескінченно тонких адіабатичних стержнів, які перерізуються із швидкістю $V_{різ}$, що визначає швидкість переміщення теплового джерела вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі. Адіабатичний стержень розподілений на дві ділянки із довжинами l_1 і l_2. Довжина l_1 визначає перерізану частину стержня та, відповідно, частку тепла, що надходить до стружок. Довжина l_2 дорівнює глибині поширення тепла в поверхневий шар оброблюваного матеріалу внаслідок його теплопровідності та визначає частку тепла, що надходить до оброблюваної деталі. На основі урахування балансу тепла, що утворюється під час різання, установлено, що найбільша температура θ, що досягається в точці А за умов $l_1 = a$; $l_1 = t$ (рис. 8.32), а також довжина l_2 для схем мікрорізання окремим зерном (різцем) і шліфування описуються однаковими аналітичними залежностями, які відрізняються лише параметрами l_1, $V_{різ}$ і σ:

$$\theta = \theta_{max} \cdot z; \quad l_2 = a \cdot \frac{z}{\bar{l}_1}; \qquad \bar{l}_1 = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot l_1 \cdot V_{різ} = -\ln(1-z) - z, \tag{8.87}$$

де $\theta_{max} = \sigma / c \cdot \rho$ − максимально можлива миттєва температура, К;

σ − умовне напруження різання, Н/м^2;

c − питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·К);

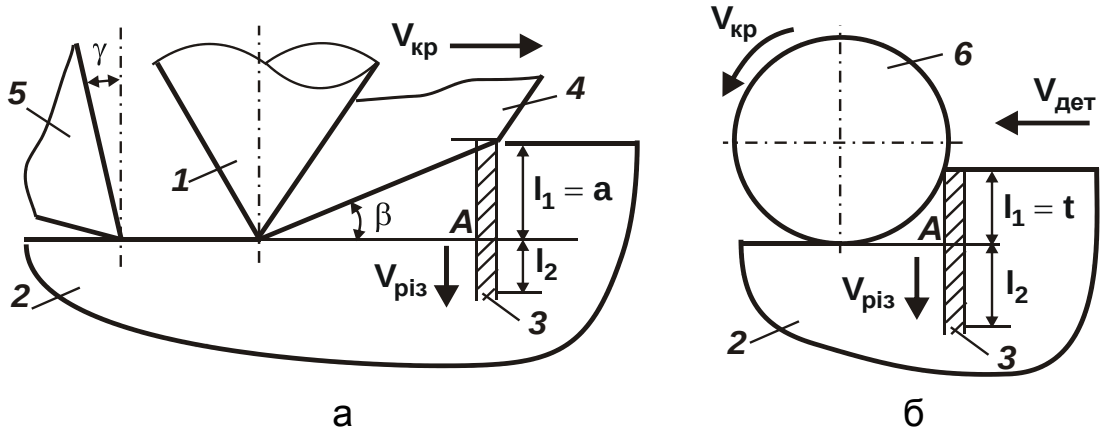
λ − коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/(м·К);

ρ − щільність оброблюваного матеріалу, кг/м^3;

z – відносна величина температури, яка змінюється в межах 0 ... 1;

$\bar{l}_1$ − безрозмірна величина;

a − товщина зрізу, м.



а б

Рисунок 8.32 – Розрахункові схеми мікрорізання окремим зерном (різцем) (а) і шліфування (б): 1 − ріжуче зерно; 2 − оброблюваний матеріал; 3 − адіабатичний стержень; 4 − стружка; 5 − різець; 6 − шліфувальний круг

Установлено, що під час мікрорізання окремим абразивним зерном $V_{різ} = V_{кр} \cdot tg\beta$, а під час процесу шліфування $V_{різ} = V_{дет} \cdot \sqrt{t/2 \cdot R_{кр}}$, де β − умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу; $V_{дет}$ − швидкість деталі, м/с; t − глибина шліфування, м; $R_{кр}$ − радіус круга, м. Умовне напруження різання σ під час шліфування більше, ніж під час мікрорізання окремим зерном, оскільки в цьому випадку оброблюваний матеріал контактує не тільки із ріжучими зернами, але й зі зв'язкою круга, що спричиняє інтенсивне тертя в зоні різання. Тому температура, що виникає під час шліфування, за фізичною суттю є середньою, а під час мікрорізання окремим зерном − миттєвою. Наведені залежності (8.87) дозволяють встановити аналітичні зв'язки між миттєвою та середньою температурами шліфування, що відкриває нові можливості для виявлення, обґрунтування та реалізації резервів шліфування.

Із залежності (8.87) витікає, що під час мікрорізання окремим зерном зі збільшенням швидкості $V_{різ}$ (збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ і товщини зрізу а) відносна величина температури z і, відповідно, миттєва температура шліфування безупинно збільшуються, асимптотично наближаючись до одиниці (рис. 8.33,а). У цьому випадку практично все тепло, що виділяється під час різанні, надходить до стружки. До оброблюваної деталі надходить незначна частина тепла. Параметр l_2 зі збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ зменшується, а зі збільшенням товщини зрізу а – збільшується (рис. 8.33,б). Із цього витікає, що зменшити параметр l_2 і домогтися підвищення якості обробки можна завдяки суттєвому збільшенню швидкості круга $V_{кр}$ − шляхом переходу в область високошвидкісного шліфування, забезпечуючи при цьому миттєву температуру шліфування θ менше температури плавлення оброблюваного матеріалу.

Для виконання цієї умови, виходячи із залежності (8.87), необхідно зменшити умовне напруження різання:

$$\sigma = \sigma_{ст} \cdot tg\left(45^o + \frac{\psi - \gamma}{2}\right) = \sigma_{ст} \cdot ctg\beta = \frac{\sigma_{ст}}{K_{різ}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right), \quad (8.88)$$

де $\sigma_{ст}$ − межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, Н/м^2;

γ − позитивний передній кут інструмента (абразивного зерна);

ψ − умовний кут тертя передньої поверхні інструмента із стружкою.

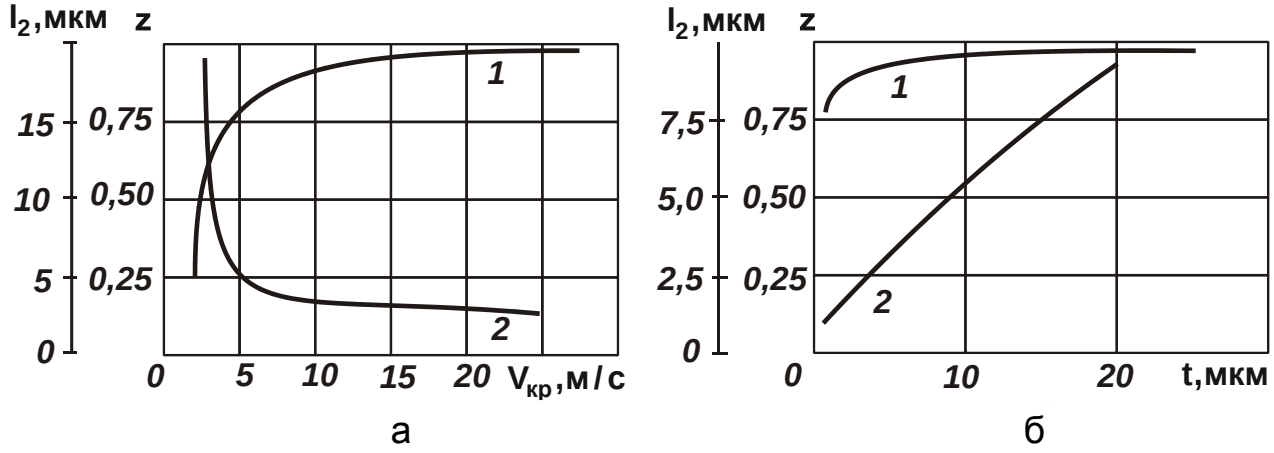


Рисунок 8.33 – Залежності відносної величини температури z (1) і параметра l_2 (2) від швидкості круга $V_{кр}$ (а) і товщини зрізу а (б):

а − $a = 0{,}05$ мм; б − $V_{кр} = 27{,}5$ м/с

Це досягається зменшенням різниці кутів $(\psi - \gamma)$ або, відповідно, збільшенням умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу β (коефіцієта різання $К_{різ} > 1$). За негативних передніх кутів γ, що характерно для процесу шліфування, різниця кутів ψ і γ визначається виразом $(\psi + \gamma)$, зменшити який можна, по-перше, зменшенням інтенсивності тертя ріжучого зерна із оброблюваним матеріалом завдяки застосуванню ефективних технологічних середовищ, по-друге, завдяки підтримки високої гостроти ріжучих зерен (зменшуючи негативний кут γ). Розрахунками встановлено, що за відносно невеликих значень коефіцієнта тертя $f = tg\psi$ оброблюваного та інструментального мате-ріалів виконати умову $К_{різ} > 1$ можна навіть за негативних передніх кутів інструмента (рис. 8.34,а). А це, виходячи із рис. 8.34,б, приводить до того, що миттєва температура шліфування θ приймає значення менше температури плавлення $\theta_{пл} = 1500$ °С оброблюваного матеріалу (сталі ШХ15).

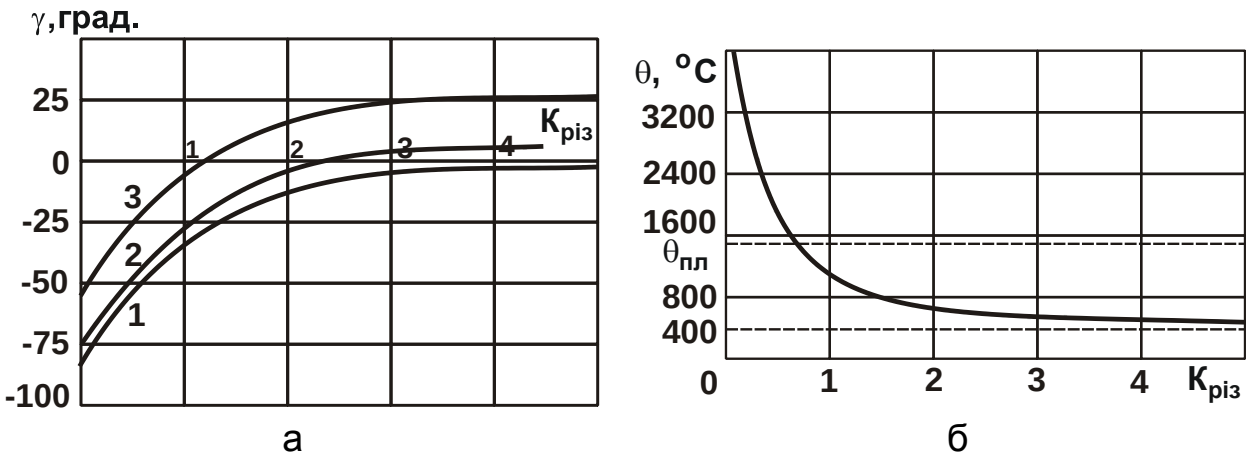


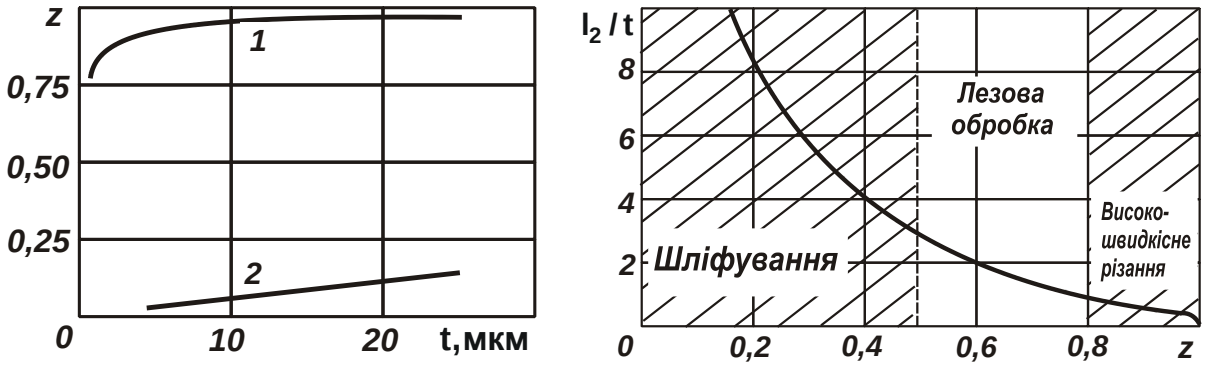
Рисунок 8.34 – Залежності кута γ (а) і миттєвої температури θ (б) від $К_{різ}$: а −1 − $\psi = 10^o$ ($f = 0{,}176$); 2 − $\psi = 20^o$ ($f = 0{,}364$); 3 − $\psi = 40^o$ ($f = 0{,}839$)

Із залежності (8.91) витікає, що чим менше умовне напруження різання $\sigma = \sigma_{ст} / tg\beta$, тим більше z і менше параметр l_2. Отже, завдяки зменшенню умовного напруження різання σ можна одночасно зменшити параметр l_2 і миттєву температуру шліфування θ, що підтверджується експериментальними даними, наведеними в науково-технічній літературі.

Як відомо, під час шліфування ріжучі зерна круга контактують не з "холодним", а з "гарячим" оброблюваним матеріалом, нагрітим працюючими зернами. Внаслідок цього, миттєва температура шліфування і параметр l_2 будуть більше, ніж під час мікрорізання окремим зерном. Це витікає із залежностей (8.87), розглядаючи замість товщини зрізу σ глибину шліфування t:

$$l_2 = t \cdot \frac{z}{\bar{l}_1}; \qquad \bar{l}_1 = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t \cdot V_{кр} \cdot tg\beta = -\ln(1-z) - z. \qquad (8.89)$$

Розрахунками встановлено, що під час мікрорізання окремим зерном швидкість $V_{різ} = V_{кр} \cdot tg\beta$ завжди більше, ніж під час шліфування: $V_{різ} = V_{дет} \cdot \sqrt{t/2 \cdot R_{кр}}$. Відповідно, миттєва температура шліфування (крива 1 на рис. 8.35,а) більше середньої температури шліфування (крива 2 на рис. 8.35,а), а глибина проникнення миттєвої температури в поверхневий шар оброблюваної деталі l_2, навпаки, менше глибини проникнення середньої температури шліфування (рис. 8.35,б), яка може багаторазово перевищувати глибину шліфування t.



а б

Рисунок 8.35 – Залежності z від t (а) і l_2/t від z (б):
а − 1 − $V_{кр} = 27{,}5$ м/с; $tg\beta = 0{,}25$; 2 − $V_{дет} = 30$ м/хв; діаметр круга $D_{кр} = 0{,}45$ м; оброблюваний матеріал − сталь ШХ15 (коефіцієнт температуропровідності $a = \lambda / c \cdot \rho = 8{,}4 \cdot 10^{-6}$ м^2/с)

Отже, підвищити якість обробки можна, по-перше, завдяки зменшенню миттєвої температури шліфування, що досягається збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ і зменшенням умовного напруження різання σ під час мікрорізання окремим зерном. По-друге, зменшенням глибини

проникнення середньої температури шліфування l_2 завдяки зниженню або навіть вилученню тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом. Із цього зроблено висновок щодо того, що необхідною умовою підвищення якості обробки під час шліфування є суттєве зниження інтенсивності тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом, а достатньою умовою − збільшення швидкості круга $V_{кр}$. У роботі отримано наближені залежності (справедливі за умови z<0,6) для визначення середньої температури шліфування θ і параметра l_2:

$$\theta = \frac{\sigma \cdot z}{c \cdot \rho} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot t \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}}\ ;\ \ l_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot t \cdot R_{кр}}}{V_{дет}}}\ . \quad (8.90)$$

Як видно, зменшити середню температуру шліфування θ і параметр l_2 без зменшення продуктивності обробки, яка обумовлена добутком параметрів $V_{дет} \cdot t$, можна збільшенням $V_{дет}$ і зменшенням t. Враховуючи те, що під час шліфування все-ж складно вилучити тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом, важливою умовою зменшення параметра l_2 за одночасним зменшенням температури різання є застосування лезової обробки, особливо високошвидкісного різання (високошвидкісного фрезерування). У цьому випадку, наприклад, на відміну від високошвидкісного шліфування вилучається середня температура, що дозволяє реалізувати умови високоякісної обробки: $l_2 \to 0$ (або $l_2 < t$); $z \to 1$ (рис. 8.36).

Отримані результати дозволяють виконати класифікацію теплових процесів, що виникають під час абразивної і лезової обробок, на основі відношення l_2 / t і параметра z. Як витікає із рис. 8.35,б, за умов $l_2 / t > 3$ і $z < 0{,}5$ реалізуються процеси шліфування, а за умов $1 < l_2 / t < 3$ і $0{,}5 < z < 0{,}8$ − процеси лезової обробки, за умов $l_2 / t < 1$ і $z > 0{,}8$ – високошвидкісне різання лезовим інструментом. Фактично, вилучаючи тертя зв'язки круга із оброблюваним матеріалом, тобто вилучаючи середню температуру шліфування, можна в діапазоні $l_2 / t < 1$ і $z > 0{,}8$ реалізувати й високошвидкісне шліфування, забезпечуючи, тим самим, суттєве підвищення якості та продуктивність обробки.

Для оцінювання вірогідності теоретичних результатів проведено експериментальні дослідження відношення l_2 / t під час внутрішнього шліфування деталі "кожух", виготовленої із сталі 16Х3НВФМБ-ІІІ після

цементації, абразивним кругом ЧК 50×25×13 25А 25П СМ1 7 на режимі різання: $V_{дет} = 36$ м/с; $S_{рад} = 0{,}11$ мм/хв; $t = 0{,}78$ мкм; $V_{кр} = 20 \ldots 35$ м/с. Установлено, що в процесі обробки в широких межах зміни режимів різання на оброблюваних поверхнях утворюються припікання глибиною $l_2 = 100 \ldots 200$ мкм. Отже, справедливі умови: $l_2 / t >> 1$; $z << 1$, що відповідає теоретичним даним, наведеним на рис. 8.35,б.

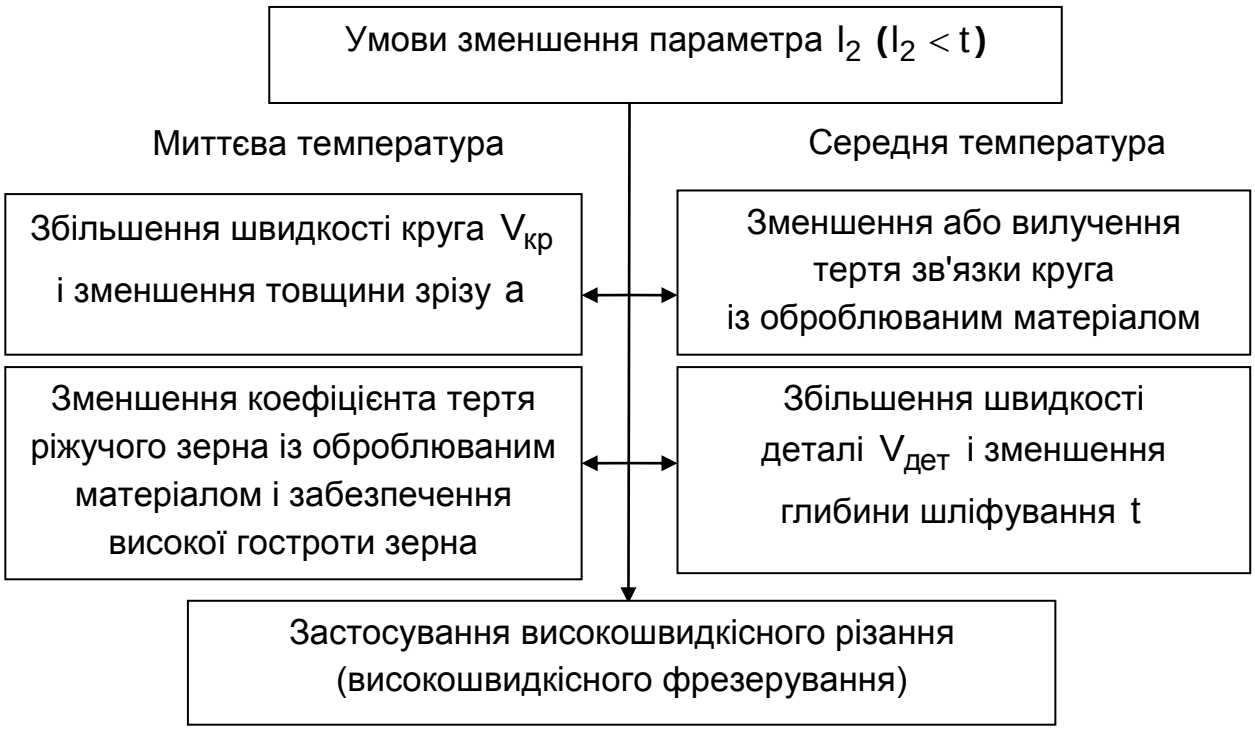


Рисунок 8.36 – Структурна схема умов зменшення параметра l_2 ($l_2 < t$)

Визначено відношення l_2 / t під час високошвидкісного фрезерування твердосплавною кінцевою фрезою отворів у деталях, виготовлених із сталі 7ХГ2ВМФ-ІІІ (HRC 51 – 56), із частотою обертання фрези $n = 8000$ об./хв, глибиною різання $t = 0{,}15$ мм, круговою подачею $S = 0{,}25$ мм/об. і вертикальною подачею − 125 мм/хв. Установлено, що на оброблюваних поверхнях припікання не виникають, а відношення $l_2 / t = 0{,}5 \ldots 1$. Це погодиться із теоретичними даними (рис. 8.35,б). Визначено також значення l_2 / t на основі експериментальних даних глибин залягання залишкових позитивних напружень в поверхневому шарі оброблюваного матеріалу, наведених у науково-технічній літературі. Так, за даними професора Філімонова Л. М. під час круглого зовнішнього абразивного швидкісного шліфування сталі $l_2 / t = 3 \ldots 8$. За даними

професора Якимова О. В. під час плоского абразивного шліфування сталі $l_2 / t = 4 \ldots 8$. За даними професора Попова С. О. під час алмазного шліфування за пружною схемою твердого сплаву $l_2 / t > 10$. За даними професора Грабченка А. І. під час точіння сталі різцями із синтетичних надтвердих матеріалів $l_2 / t = 0{,}5 \ldots 2$. Як видно, наведені експериментальні результати погодяться із теоретичними даними (рис. 8.35,б), що указує на їхню вірогідність.

8.2.3. Визначення умов зменшення температури шліфування

На основі рівняння (8.80) із урахуванням умови $z < 0{,}2$, що досягається під час шліфування, отримано спрощену залежність для визначення температури шліфування прямолінійної деталі, яка рухається по нормалі до круга із постійною швидкістю (рис. 8.37):

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{різ} \cdot l_1}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} . \qquad (8.91)$$

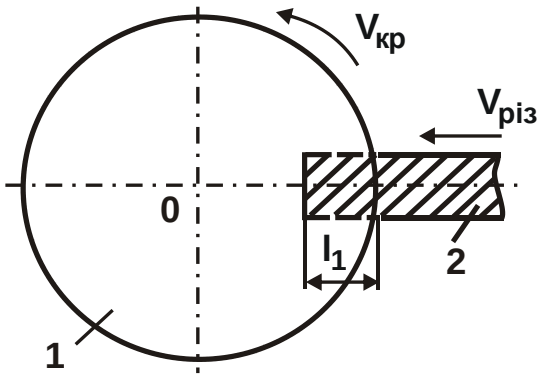


Рисунок 8.37 – Розрахункова схема процесу шліфування деталі, яка рухається вздовж нормалі до круга: 1 − круг; 2 – деталь

Встановлено, що розрахункові значення температури шліфування у даному випадку відрізняються від експериментальних значень у межах 10 %. Це указує на достовірність отриманого теоретичного рішення. Із залежності (8.91) витікають основні умови зменшення температури шліфування, які полягають у зменшенні умовного напруження різання σ (енергоємності обробки) та необхідності знімання припуску П невеликими частинами l_1 шляхом періодичного переривання процесу

шліфування із метою охолодження нагрітої деталі (рис. 8.38). Завдяки зменшення величини $l_1 \to 0$, можна фактично необмежено збільшувати швидкість деталі $V_{різ}$ й, відповідно, продуктивність обробки за такої самої температури шліфування θ, що указує на наявність значних резервів шліфування. Виходячи із цього, проведено оптимізацію структури і параметрів операції шліфування в n переходів за найменшим основним часом обробки τ із урахуванням обмеження за температурою шліфування θ:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + ... + \tau_n = \frac{\left| \Pi_1^2 + \Pi_2^2 + ... + \Pi_{n-1}^2 + (\Pi - \Pi_1 - \Pi_2 - ... - \Pi_{n-1})^2 \right|}{A}, \quad (8.92)$$

де Π_1, Π_2, ..., Π_n – припуски, які знімаються на переходах;

$\Pi_1 + \Pi_2 + ... + \Pi_n = \Pi$ – сумарний припуск, м;

$$A = \left(\frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2} \right) \cdot \left(\frac{\theta}{\sigma} \right)^2.$$

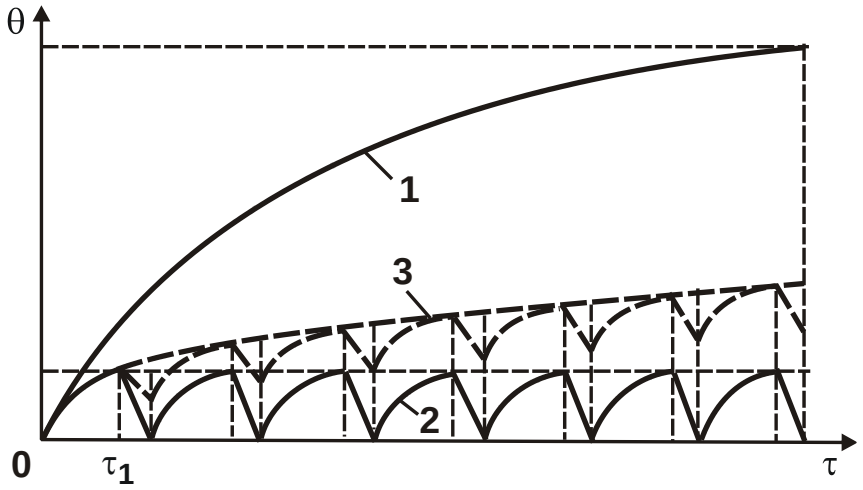


Рисунок 8.38 – Залежність температури шліфування θ від часу обробки τ за один перехід і відсутності охолодження деталі (1) та в умовах обробки за n переходів за повним (2) і частковим (3) охолодженням деталі

Із залежності (8.92) витікає нескінченна безліч екстремумів (мінімумів) основного часу обробки τ від величин Π_1, Π_2, ..., Π_n (рис. 8.39,а). Після підпорядкування функцію τ необхідній умові екстремуму: $\tau'_{\Pi_1} = 0$; $\tau'_{\Pi_2} = 0$; $\tau'_{\Pi_n} = 0$, визначено екстремальні значення

параметрів: $П_1 = П_2 = ... = П_n = \frac{П}{n}$; $\tau_{min} = \frac{П^2}{n \cdot A}$; $V_{різ} = \frac{n \cdot A}{П}$ (рис. 8.39,в).

У результаті досліджень встановлено, що за умови забезпечення повного охолодження деталі між переходами (але без урахування часу, що витрачається на її охолодження) основний час обробки набуває мінімального значення за умови розбивання припуску, що знімається, на однакові частини та виконання обробки за n переходів із однаковою швидкістю $V_{різ}$. При цьому значення τ_{min} тим менше, чим більше кількість переходів n.

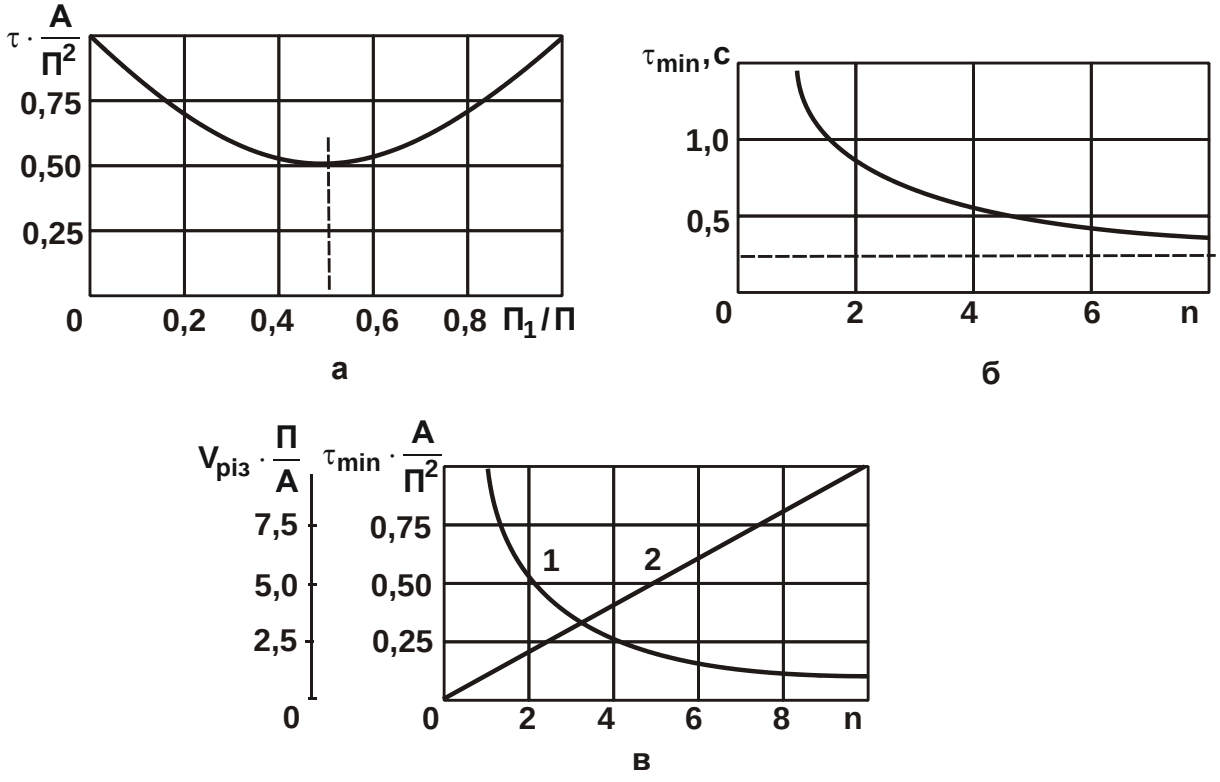


Рисунок 8.39 – Залежність $\tau \cdot A/П^2$ від $П_1/П$ для операції шліфування у 2 переходи (а); залежності τ_{min} (б) і $\tau_{min} \cdot A/П^2$ (1), $V_{різ} \cdot П/A$ (2) (в) від кількості переходів n

Встановлено, що урахування часу, який витрачається на повне охолодження деталі між переходами, не змінює екстремального характеру залежності (8.92) основного часу обробки від n, однак, збільшує мінімальне значення τ_{min} (рис. 8.39,б):

$$\tau_{min} = \frac{\tau}{n} + (n-1) \cdot \tau_{охол} = \frac{1}{n} \cdot \left(\tau - \frac{\sqrt{0{,}5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau}}{\alpha} \right) + \frac{\sqrt{0{,}5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau}}{\alpha}, \quad (8.93)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2· К);

$\tau_{нагр}$, $\tau_{охол}$ – час нагрівання та охолодження деталі, с;

$$\tau_{охол} = \frac{\sqrt{0{,}5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau_{нагр}}}{\alpha};$$

$$\frac{\tau_{охол}}{\tau_{нагр}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2\tau_{нагр}}};$$

$$\tau_{нагр} = \frac{\tau}{n^2};$$

$\tau = \frac{П^2}{A}$ – час знімання припуску П за один перехід із урахуванням умови забезпечення заданої температури θ, с.

Встановлено, що зі збільшенням n величина τ_{min} зменшується не нескінченно (як у попередньому рішенні), а до кінцевого значення, зумовленого другим доданком залежності (8.93). При цьому відношення значень τ_{min}, отриманих із залежностей (8.93) і (8.92), становить 1,17 (для n=2) і 3,53 (для n=16).

Залежність (8.93) отримано за умови рівності кількості тепла, що витрачається на нагрівання $Q_{нагр} = S \cdot \theta \cdot \sqrt{0{,}5 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau_{нагр}}$ та охолодження $Q_{охол} = \alpha \cdot (\theta - \theta_0) \cdot S \cdot \tau_{охол}$ оброблюваної деталі, де θ_0 – температура деталі після охолодження ($\theta_0 = 0$). Розрахунки виконано для таких вихідних даних: $\rho = 14{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·с·град); $\alpha = 10^4$ кал/(м^2·с· град); $\theta = 1000$ °С; $\sigma = 10^5$ Н/мм^2; $П = 0{,}1$ мм; $A = 7 \cdot 10^{-9}$ м^2/с.

Розрахунками встановлено, що зі збільшенням кількості переходів n відношення $\tau_{охол} / \tau_{нагр}$ також збільшується (табл. 8.12), а довжина робочого виступу круга l (під час переривчастого шліфування із швидкістю круга 30 м/с) приймає значення, які неможливо реалізувати на практиці. Отже, за допомогою переривчастого шліфування складно виконати умови обробки, що відповідають кривій 2 (рис. 8.38). Фактично можна реалізувати криву 3, яка допускає лише часткове охолодження оброблюваної деталі за період переривання процесу шліфування, що також створює ефект обробки, підтверджений експериментальними даними. Реалізувати криву 2 (рис. 8.38) і, таким чином, домогтися найбільшої продуктивності за заданої температури шліфування Θ можна

завдяки застосуванню, наприклад, схеми шліфування, коли оброблювана деталь рухається не вздовж нормалі (рис. 8.37), а за дотичною до робочої поверхні круга (виконуючи зворотно-поступальні рухи в тангенціальному напрямі), тобто завдяки застосуванню схем плоского і круглого зовнішнього шліфування.

Таблиця 8.12 – Розрахункові значення $\tau_{нагр}$, $\tau_{охол} / \tau_{нагр}$ і довжина робочого виступу круга l для $П = 0{,}1$ мм

n	1	2	3	4	8	16
$\tau_{нагр}$, с	1,43	0,357	0,159	0,089	0,022	0,0056
$\tau_{охол} / \tau_{нагр}$	–	0,337	0,505	0,675	1,358	2,693
l, м	–	10,7	4,74	2,7	0,66	0,17

Щоб реалізувати криву 2 (рис. 8.38) під час часткового охолодження деталі між переходами, отримано нове розв'язання, аналогічне рішенню, що описується залежністю (8.92). Основний час обробки в цьому випадку також змінюється за екстремальною залежністю. Однак, мінімум часу обробки зумовлений нерівномірним зняттям на переходах припуску, який описується законом, близьким до зростаючої геометричної прогресії. При цьому швидкість радіальної подачі за переходами змінюється за законом, близьким до спадної геометричної прогресії (рис. 8.40,а), а мінімальний час обробки є тим меншим, чим більше кількість переходів n (рис. 8.40,б). Отже, реалізація умов шліфування із дискретно змінюваною (зменшуваною) для переходів швидкістю радіальної подачі дозволяє підвищити продуктивність обробки із одночасним забезпеченням заданої температури шліфування θ. Розрахунками встановлено, що основний час обробки на переходах, наприклад, під час шліфування в чотири переходи, підкоряється залежності $\tau = (0{,}021 + 0{,}063 + 0{,}133 + 0{,}233) \cdot П^2 / A$, тобто на останньому переході він значно більше, ніж на першому переході. Швидкість $V_{різ1}$ на першому переході в 7 разів більше швидкості $V_{різ}$ під час шліфування в один перехід, а на четвертому переході – більше усього в 1,5 рази (рис. 8.40,а).

Аналогічне рішення отримане спрощеним методом, розглядаючи залежність (8.91) у вигляді $V_{різ} = \sqrt{A / \tau}$. Із залежності витікає можли-

вість забезпечення заданої температури шліфування θ завдяки зменшенню за часом швидкості $V_{різ}$. Величина знятого припуску дорівнює $П = \int_0^{\tau} V_{різ} \cdot d\tau$, звідки $\tau = 0{,}25 \cdot П^2 / A$. Очевидно, під час шліфування деталі із постійною швидкістю $V_{різ}$ час знімання припуску $П$ дорівнює $\tau = П^2 / A$. Отже, під час шліфування із безперервно зменшуваною у часі швидкістю $V_{різ}$ основний час обробки може бути зменшений у 4 рази за однакової температури шліфування. Практично реалізувати таку схему шліфування можна під час виходжування. У цьому випадку швидкість радіальної подачі підлягає закону, близькому до спадної геометричної прогресії, тобто такому самому, як і під час обробки зі зменшуваною на переходах (у часі) швидкістю $V_{різ}$.

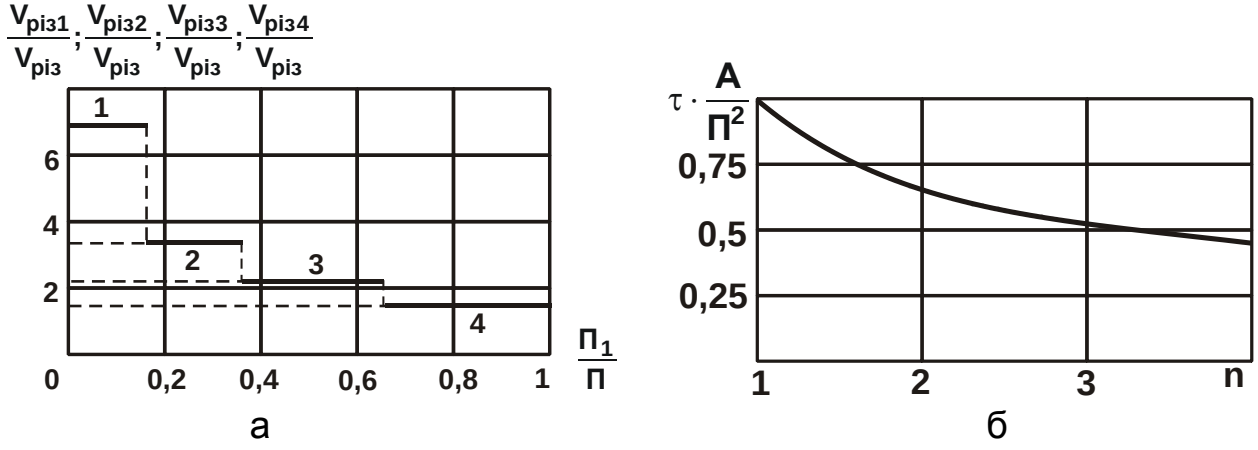


Рисунок 8.40 – Характер зміни відношень $V_{різ1} / V_{різ}$ (1), $V_{різ2} / V_{різ}$ (2) і $V_{різ3} / V_{різ}$ (3), $V_{різ4} / V_{різ}$ (4) на чотирьох переходах (а) і залежність $\tau_{min} \cdot A / П^2$ від n (б)

На основі отриманих теоретичних рішень проведено аналіз умов підвищення ефективності плоского шліфування на основі температурного критерію. Встановлено, що перехід від схеми шліфування, показаної на рис. 8.37, до плоского багатопрохідного шліфування (розглядаючи оброблювану деталь у вигляді пакета елементарних деталей, які рухаються за дотичною до круга із швидкістю $V_{дет}$, рис. 8.41,а) дозволяє найпростішим способом реалізувати ефект періодичного перери-

вання процесу шліфування із метою охолодження оброблюваної деталі та забезпечення максимальної продуктивності обробки. Це особливо стосується процесу шліфування периферією круга, де відношення $\tau_{охол} / \tau_{нагр} >> 1$ і де на відміну від торцевого шліфування, можна значно простіше забезпечити повне охолодження деталі між проходами круга. Для зменшення температури під час торцевого шліфування доцільно використовувати переривчасті круги (реалізуючи криву 2 (рис. 8.38)), а також зменшувати кут α (рис. 8.41,а):

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{дет} \cdot l_1 \cdot tg\alpha}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} . \qquad (8.94)$$

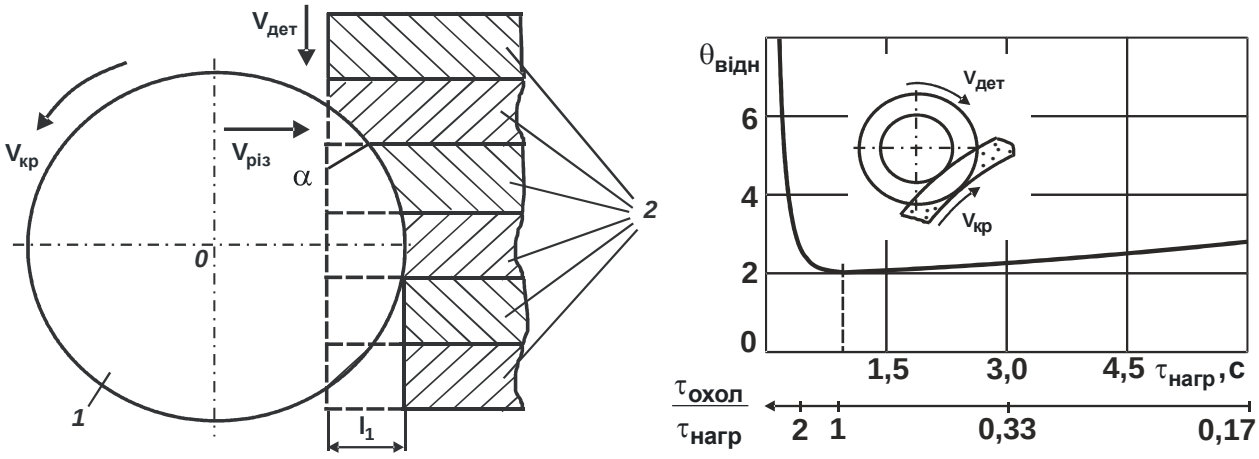


Рисунок 8.41 – Розрахункова схема шліфування (а) і залежність відносної температури $\theta_{відн}$ від часу $\tau_{нагр}$ (б): 1 − круг; 2 − деталь

На основі залежності (8.94) встановлено відносну температуру $\theta_{відн}$ (рис. 8.41,б) та визначено умови її зменшення для заданої продуктивності шліфування торцем круга торцевої поверхні циліндричної деталі. Вони полягають у встановленні площі контакту круга із деталлю, яка дорівнює половині площі оброблюваної поверхні, а також у зменшенні швидкості обертання деталі до значення, за яким забезпечується повне охолодження оброблюваної поверхні:

$$\theta_{min} = 2 \cdot \sigma \cdot V_{різ} \cdot \sqrt{\frac{1}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{\pi \cdot D_{дет}}{V_{дет}}} . \qquad (8.95)$$

За аналогією із отриманими рішеннями (рис. 8.39,а і рис. 8.40,а), проведено оптимізацію параметрів операції плоского шліфування за

найменшим основним часом обробки із урахуванням обмеження за температурою шліфування θ для випадків повного та часткового охолодження оброблюваної деталі між проходами круга. Доведено, що у першому випадку можна домогтися значно меншого основного часу обробки, ніж у другому. При цьому глибину шліфування та швидкість деталі за проходами слід встановлювати однаковими, збільшуючи кількість проходів і приймаючи швидкість деталі максимально можливою. У другому випадку необхідно глибину шліфування за проходами збільшувати, а швидкість деталі зменшувати за законами, близькими до геометричної прогресії, наприклад, як це встановлено під час знімання припуску П за 4 проходи:

$$t_1 = 0{,}146 \cdot П; \qquad t_2 = 0{,}219 \cdot П; \qquad t_3 = 0{,}285 \cdot П; \qquad t_4 = 0{,}35 \cdot П;$$

$$\frac{V_{дет1}}{V_{дет}} = 18{,}193; \quad \frac{V_{дет2}}{V_{дет}} = 7{,}427; \quad \frac{V_{дет3}}{V_{дет}} = 4{,}011; \quad \frac{V_{дет4}}{V_{дет}} = 2{,}538,$$

де $V_{дет}$ – швидкість деталі під час знімання припуску за один прохід. Це указує на те, що на останньому проході фактично реалізуються умови глибинного шліфування. Тому в роботі визначено температуру під час глибинного шліфування (рис. 8.42,а). Встановлено, що у зв'язку із криволінійністю контакту круга із деталлю швидкість $V_{різ}$ перерізання адіабатичних стержнів, якими умовно подано припуск, що знімається, зменшується в часі τ. Це приводить до екстремального характеру зміни температури θ уздовж товщини припуску, який знімається (в часі τ):

$$\frac{\theta}{\theta_*} = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_*}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}}, \qquad (8.96)$$

де $\theta_* = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{дет}^2 \cdot \tau_*}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_*}$;

$\tau_* = \frac{\sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дет}}$ – час контакту круга із стержнем, с.

Після підпорядкування залежності (8.96) необхідній умові екстремуму, встановимо, що за умови $\tau = \tau_* / 3$ має місце максимум функції θ / θ_* (рис. 8.42,б). Встановлено також, що під час шліфування із постійною швидкістю $V_{різ}$ перерізання адіабатичного стержня температура θ_1 безупинно збільшується із часом обробки τ (рис. 8.42,б):

$$\theta_1 = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{дет}^2 \cdot \tau_*}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_* \cdot \frac{\tau}{\tau_*}} \quad \text{або} \quad \frac{\theta_1}{\theta_*} = \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}}. \qquad (8.97)$$

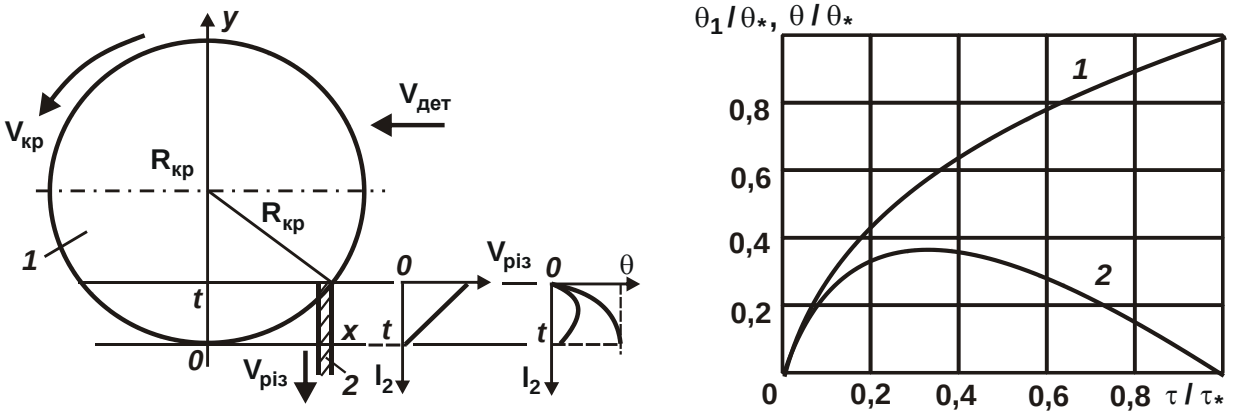
Отже, завдяки реалізації зменшуваної в часі швидкості $V_{різ}$ максимальна температура шліфування θ / θ_* менше приблизно у 3 рази температури θ_1 / θ_* і досягається фактично в початковий момент перерізання адіабатичного стержня. Це указує на те, що нагрівається, го-ловним чином, припуск, який знімається, тобто під час глибинного шліфування до стружок відходить значно більше тепла, ніж до оброблюваної деталі.

Температура θ поверхневого шару деталі, для $y = 0$ (рис. 8.42,а), визначається:

$$\theta = \frac{0{,}94 \cdot \sigma}{\lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \left(\sqrt{\frac{0{,}94 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{R_{кр}} \cdot U} - U \right), \qquad (8.98)$$

де $U = Q_{пит} \cdot \sqrt{t}$ − змінна величина;

$Q_{пит} = t \cdot V_{дет}$ − питома продуктивність обробки, м^2/с.



а б

Рисунок 8.42 – Розрахункова схема температури глибинного шліфування: 1 − круг; 2 − адіабатичний стержень (а), та залежності θ_1 / θ_* (1), θ / θ_* (2) від τ / τ_* (б)

Після підпорядкування функції θ необхідній умові екстремуму, визначено екстремальні значення: $U = \frac{0{,}94 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}}{4 \cdot c \cdot \rho}$; $\theta_{max} = 0{,}22 \cdot \frac{\sigma}{c \cdot \rho}$. Відповідно, температура θ поверхневого шару обробленої деталі зі

збільшенням глибини шліфування (за заданої продуктивності обробки) змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму (рис. 8.43).

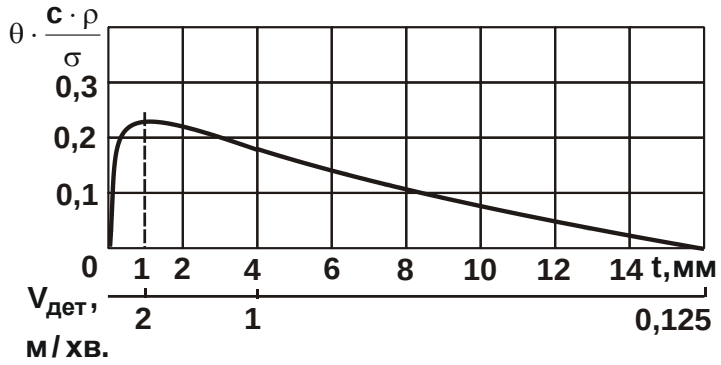


Рисунок 8.43 – Характер зміни функції $\theta \cdot c \cdot \rho / \sigma$ від глибини шліфування t (зі зміною швидкості деталі $V_{дет}$)

Це указує на те, що зменшити температуру шліфування можна двома шляхами: застосуванням багатопрохідного шліфування (із відносно високою швидкістю деталі) і глибинного шліфування (із незначною швидкістю деталі). Отже, реалізувати бездефектне глибинне шліфування можна із відносно великою питомою продуктивністю обробки, що дорівнює 5 − 10 тис. мм^3/(хв·мм), і глибиною шліфування до 10 мм і більше, наприклад, під час розрізання заготовок на частини, вишліфовуванні глибоких пазів і канавок. Отриманий висновок узгоджується із відомими експериментальними даними професора Вернера Г. (США) [128], а також указує на те, що глибинне шліфування є високопродуктивним методом обробки, цілком конкурентоспроможним із обробкою ріжучим лезовим інструментом.

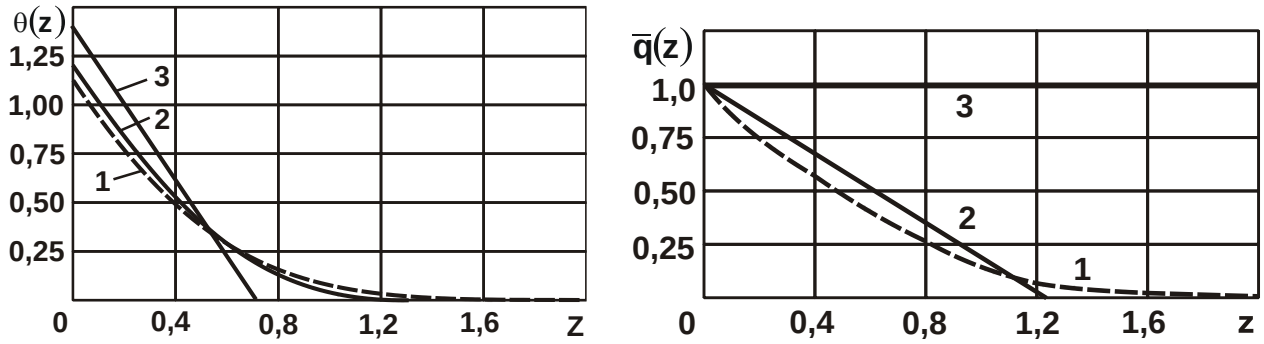
8.2.4. Теоретичне обґрунтування умов зменшення теплової напруженості механічної обробки

Встановлено, що, відповідно до класичного рішення диференціального рівняння теплопровідності у напівнескінченному тонкому адіабатичному стержні $\frac{\partial\theta(x,\tau)}{\partial\tau} = a^2 \cdot \frac{\partial^2\theta(x,\tau)}{\partial x^2}$ для граничної умови $\left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda}\cdot q_0$ та початкової умови $\theta|_{\tau=0} = 0$:

$$\theta(z) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - erfz) \right]; \qquad (8.99)$$

$$q(z, \tau) = q_0 \cdot (1 - erfz), \qquad (8.100)$$

температура $\theta(z)$ і щільність теплового потоку $q(z)$ за глибиною поверхневого шару оброблюваного матеріалу безупинно зменшуються, асимптотичне наближаючись до нульового значення (рис. 8.44).



а б

Рисунок 8.44 – Графіки функцій $\theta(z)$ (а) і $q(z)$ (б), що описуються залежностями: 1 – (8.99) і (8.100); 2 – (8.101) і (8.102); 3 – (8.103)

за умови $a \cdot \sqrt{\Delta\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} = 1$

У цьому випадку $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$; x – координата, м; τ – час, с; a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, м^2/с; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м·К; q_0 – щільність теплового потоку при $x = 0$, Вт/м^2. Як видно, глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу нескінченна й тому не можна однозначно визначити значення порушеного (дефектного із погляду теплової дії) шару оброблюваного матеріалу. Для вирішення такої задачі в роботі запропоновано спрощений підхід до визначення температури шліфування для заданого закону розподілення щільності теплового потоку за глибиною поверхневого шару оброблюваного матеріалу. Встановлено, що для випадку $q(x) = q_0 \cdot \left(1 - \frac{x}{\Delta x}\right)$ і граничної умови $\theta(x = \Delta x) = 0$ маємо:

$$\theta(z) = 1{,}225 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot (1 - 0{,}816 \cdot z)^2; \qquad (8.101)$$

$$q(z) = q_0 \cdot (1 - 0{,}816 \cdot z), \qquad (8.102)$$

де Δx – глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу, м.

Відповідно, для випадку $q(x)=q_0$ отримано:

$$\theta(z)=1{,}414\cdot a\cdot\sqrt{\tau}\cdot\frac{q_0}{\lambda}\cdot(1-1{,}414\cdot z). \qquad (8.103)$$

Розрахунками встановлено, що значення максимальної температури шліфування, які отримано із використанням залежностей (8.99), (8.101) і (8.103), відрізняються незначно (у межах 15 %, рис. 8.44). Це дозволяє виконувати розрахунок максимальної температури шліфування і глибини проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу на основі запропонованого спрощеного рішення, що відкриває нові можливості визначення умов зменшення температури шліфування. Так, із використанням залежності (8.101) аналітично описано характер зміни температури від числа переривань процесу шліфування n:

$$\theta_0=\sigma\cdot\sqrt{\frac{2\cdot\Pi^2}{c\cdot\rho\cdot\lambda}\cdot\frac{n}{m^2}\cdot\left(\frac{1}{\tau_1}-\frac{2\cdot\alpha^2}{c\cdot\rho\cdot\lambda}\cdot\frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}\right)}; \qquad (8.104)$$

$$\theta_{max}=\sigma\cdot\sqrt{\frac{2}{c\cdot\rho\cdot\lambda}\cdot\frac{\Pi^2}{m^2\cdot\tau_1^2}\left(n\cdot\tau_1-(n-1)\cdot\frac{2\cdot\alpha^2}{c\cdot\rho\cdot\lambda}\cdot\tau_2^2\right)}, \qquad (8.105)$$

де θ_0, θ_{max} – температури після дії n-го теплового імпульсу й охолодження оброблюваної деталі, К;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м$^2\cdot$ К);

m – кількість розбивань припуску на частини;

τ_1 – час дії теплового імпульсу, с;

τ_2 – час охолодження оброблюваної деталі, с.

Розрахунками встановлено, що зі зменшенням часу τ_1 від 0,356 с до 0,089 с сумарний час обробки $\tau=m\cdot\tau_1+(m-1)\cdot\tau_2$ зменшився від 1,43 с до 0,535 с для заданої максимальної температури шліфування $\theta_{max}=1000$ °С (рис. 8.45). Вихідні дані: $\sigma=10^5$ Н/мм^2; $\rho=14{,}5\cdot10^3$ кг/м^3; $c=40$ кал/(кг·град); $\lambda=14$ кал/(м·с·град); $\alpha=10^4$ кал/(м^2·с·град); $\Pi=0{,}1$ мм; $m=4$; $\tau_2=\sqrt{\frac{\tau_1\cdot(4-11{,}236\cdot\tau_1)}{75}}$. Із рис. 8.45 витікає, що за умови $\tau_1=0{,}089$ с відбувається повне охолодження оброблюваної деталі в момент переривання процесу шліфування, а за умови $\tau_1>0{,}089$ с – неповне охолодження. Отже, домогтися найбільшого ефекту обробки можна у випадку $\tau_1=0{,}089$ с. Із залежності (8.104) також витікають 3 основні умови зменшення температури θ_0. Перша умова полягає в змен-

шенні енергоємності обробки σ, друга умова – у збільшенні m, а третя умова – у забезпеченні рівності двох доданків підкореневого виразу.

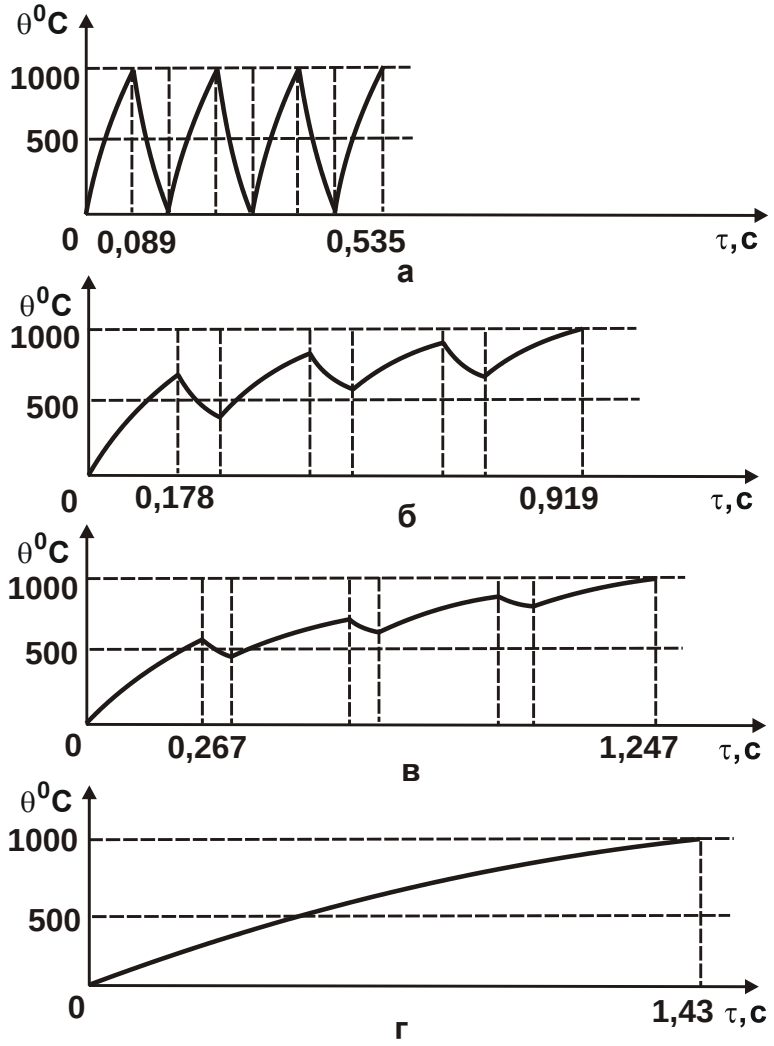


Рисунок 8.45 – Характер зміни температури шліфування θ від часу обробки τ: а – $\tau_1 = 0{,}089$ с; б – $\tau_1 = 0{,}178$ с; в – $\tau_1 = 0{,}267$ с; г – $\tau_1 = 0{,}356$ с

Таким чином встановлено, що реалізація третього випадку приводить до стабілізації в часі (зі збільшенням n) максимального значення температури θ_{max} (рис. 8.45,а).

8.2.5. Обґрунтування умов підвищення якості та продуктивності обробки під час зубошліфування за температурним критерієм

Встановлено аналітичний зв'язок між температурою шліфування θ і глибиною l_2 проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі під час торцевого шліфування (рис. 8.46):

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{l_1}{l_2}; \qquad (8.106)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot V_{різ} \cdot l_1} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{пит}}, \qquad (8.107)$$

де l_1 − товщина шару знятого матеріалу, яка під час торцевого шліфування дорівнює глибині шліфування t, м;

c − питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·град);

ρ − щільність оброблюваного матеріалу, кг/м^3;

$V_{різ} = t \cdot V_{дет} / B$ − швидкість перерізання адіабатичного стержня, якими умовно представлено припуск, що знімається, м/с;

$V_{дет}$ − швидкість переміщення деталі, м/с;

B − довжина робочої частини круга (довжина контакту круга із деталлю), м;

λ − коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/(м·град);

$Q_{пит} = t \cdot V_{дет}$ − питома продуктивність обробки, м^2/с.

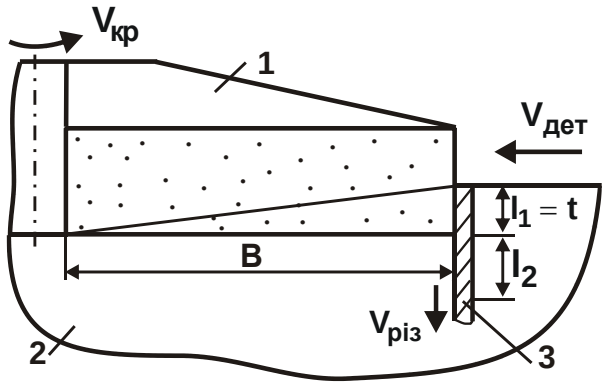
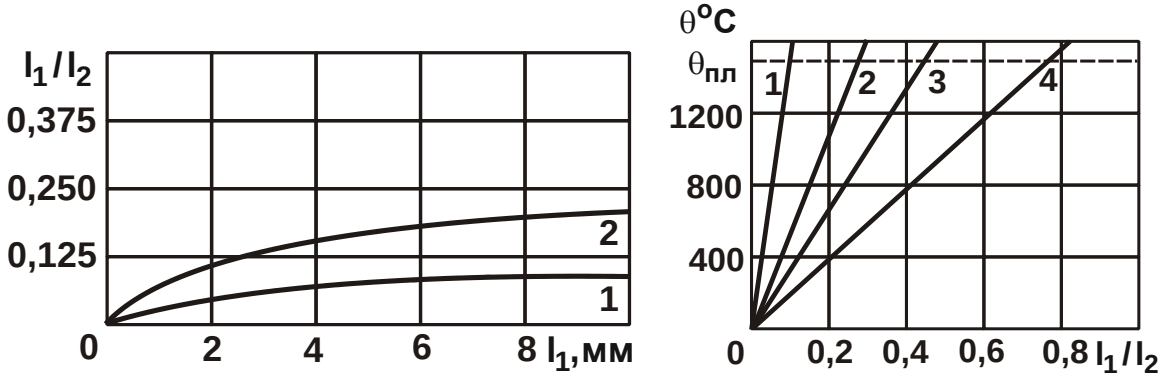


Рисунок 8.46 – Розрахункова схема торцевого шліфування:
1 − круг; 2 − оброблюваний матеріал; 3 − адіабатичний стержень

Аналіз залежності (8.106) показує, що зменшити температуру шліфування θ можна шляхом збільшення глибини l_2. Отже, одночасного зменшення параметрів θ і l_2 та, відповідно, підвищення якості обробки можна досягти завдяки зменшенню умовного напруження різання σ у результаті зменшення інтенсивності тертя в зоні шліфування та підвищення ріжучої здатності круга. Розрахунками встановлено, що під час шліфування сталі ШХ15 ($c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/(м^3·град)) відношення l_1 / l_2

набуває значення, яке менше одиниці (рис. 8.47,а). Установлено також, що забезпечення значень θ, які менше температури плавлення сталі ШХ15 ($\theta_{пл} = 1500$ °С), можливо за умови $l_1/l_2 << 1$ (рис. 8.47,б). Це пов'язано із відносно великими значеннями умовного напруження різання під час шліфування $\sigma = \sigma_{ст} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + К_ш^2}\right) / К_ш$, де $К_ш = P_z / P_y$ − коефіцієнт шліфування (0,1 ... 1); P_z, P_y − тангенціальна і радіальна складові сили різання, Н; $\sigma_{ст}$ − межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, МПа (для сталі ШХ15 − $\sigma_{ст} = 2 \cdot 10^3$ МПа).



а б

Рисунок 8.47 – Залежності l_1/l_2 (а) від товщини знятого матеріалу l_1 для різних значень швидкості перерізання адіабатичного стержня (1 − $V_{різ} = 2$ мм/хв; 2 − $V_{різ} = 10$ мм/хв) та температури шліфування θ (б) від відношення l_1/l_2 для коефіцієнта шліфування (1 − $К_ш = 0{,}1$; 2 − $К_ш = 0{,}3$; 3 − $К_ш = 0{,}5$; 4 − $К_ш = 1$)

Отже, достатньо складно одночасно зменшити температуру шліфування θ до необхідного рівня, виконати умову $l_1/l_2 \to 1$ і домогтися підвищення якості обробки. Реально можна виконати лише одну умову: зменшити температуру шліфування θ шляхом збільшення параметра l_2. У цьому випадку виключається утворення на оброблюваних поверхнях припікань. Однак, у зв'язку зі збільшенням параметра l_2 можливі структурні зміни поверхневого шару оброблюваної деталі, які не завжди можна усунути на наступному проході круга за умови $l_1/l_2 << 1$. Тому, поряд із забезпеченням заданого значення температури шліфування θ, необхідно зменшувати параметр l_2 шляхом зменшення умовного напруження різання σ.

Під час шліфування на оброблюваних поверхнях, крім припікань, утворюються мікротріщини, пов'язані із високим градієнтом температури:

$$\text{grad}\theta = \frac{\theta}{l_2} = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{дет}. \qquad (8.108)$$

Зменшити $\text{grad}\theta$ і виключити утворення мікротріщин можна зменшенням температури шліфування θ та збільшенням параметра l_2, що відповідає встановленій раніше умові виключення припікань, і досягається зменшенням параметрів σ, t, $V_{дет}$ і збільшенням B. Отже, одночасно зменшити $\text{grad}\theta$, температуру шліфування θ, параметр l_2 і, таким чином, виключити утворення мікротріщин і припікань на обробленій поверхні (за заданої продуктивності обробки) можна лише за завдяки зменшенню умовного напруження різання σ.

У роботі виконано оптимізацію параметрів режимів зубошліфування із урахуванням температурного чинника. Виходячи із залежностей (8.106) і (8.107), зменшити температуру шліфування θ за однієї продуктивності обробки можна зменшенням глибини шліфування t, тобто збільшенням кількості проходів круга під час знімання заданого припуску П. Однак, це викликає збільшення допоміжного часу обробки у зв'язку із реверсуванням стола верстата. Тому існує оптимальна кількість проходів круга n_1, за яких штучний час $T_{шт}$ (що дорівнює сумі основного $T_{осн}$ і допоміжного $T_{доп}$ часу обробки на операції зубошліфування) приймає мінімальне значення:

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{доп} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot (\tau_{осн} + \tau_{доп}) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{доп} \cdot \gamma_1, \qquad (8.109)$$

де $T_{осн} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot \tau_{осн}$;

$T_{доп} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot \tau_{доп}$;

z – кількість зубів;

k – кількість подвійних зворотно-поступальних рухів круга уздовж оброблюваного зуба за один прохід;

$\tau_{осн} = L / V_{дет}$ – основний час обробки за один подвійний хід круга, с;

L – довжина поздовжнього ходу круга, м;

$\tau_{доп}$ – допоміжний час обробки за один подвійний хід круга, с;

$\gamma_1 = \left(\frac{n_{1екстр}^2}{n_1} + n_1 \right)$ – безрозмірна величина.

За необхідної умови екстремуму $T'_{шт_{n1}} = 0$ за залежністю (8.109) визначено екстремальні значення $n_{1екстр}$ кількості проходів круга і швидкості деталі $V_{дет}$ та мінімальне значення $T_{шт}$ штучного часу:

$$n_{1екстр} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot П \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{доп}}}; \quad (8.110)$$

$$V_{дет} = \frac{L}{\tau_{доп}}; \quad (8.111)$$

$$T_{шт_{min}} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{1екстр} \cdot (\tau_{осн} + \tau_{доп}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot П \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{доп}}. \quad (8.112)$$

Перша і друга складові залежності (8.112) однакові, тобто однакові основний $\tau_{осн}$ і допоміжний $\tau_{доп}$ часи обробки. Зменшити $T_{шт_{min}}$ можна, насамперед, зменшенням параметрів σ і П за заданого значення температури шліфування θ. При цьому екстремальне значення $V_{дет}$ тим більше, чим менше допоміжний час $\tau_{доп}$. Для вихідних даних: $\rho = 14{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·град); $\sigma = 10^5$ Н/мм^2; $\theta = 1000$ °С; $П = 0{,}4$ мм; $L = 100$ мм; $B = 30$ мм; $\tau_{доп} = 1$ с, із урахуванням $t = П / n_1$, отримано $n_{1екстр} = 9$, $V_{дет} = 6$ м/хв, $t = 0{,}045$ мм. Аналіз графіка (рис. 8.48) показує, що безрозмірна величина γ_1 несуттєво змінюється в діапазоні $n_1 = 5 \ldots 20$. Це указує на ефективність знімання припуску за невелику кількість проходів круга (у межах 5 проходів). Таким чином, у роботі запропоновано нову методику розрахунку оптимальних умов обробки під час шліфування за критерієм найменшого штучного часу обробки із урахуванням обмеження за температурою шліфування.

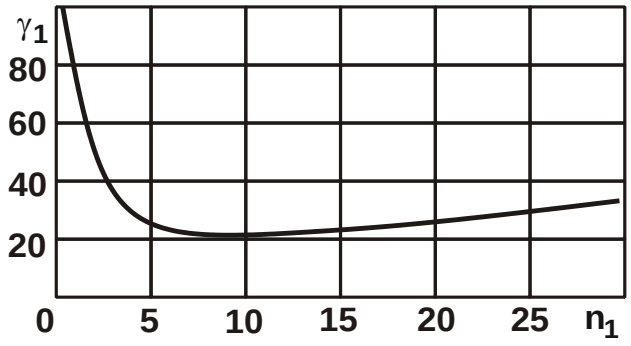


Рисунок 8.48 – Залежність безрозмірної величини γ_1 від кількості проходів круга n_1

Також визначено умови одночасного забезпечення вимог за точністю та якістю оброблюваних поверхонь під час шліфування, які обумовлено заданими значеннями величини пружного переміщення $y_{пр}$, що виникає у технологічній системі, і температурою шліфування θ:

$$y_{пр} = \frac{P_y}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot K_ш} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{дет}}{V_{кр}}; \qquad (8.113)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дет}}{B}}, \qquad (8.114)$$

де C − жорсткість технологічної системи, Н/м;

h − ширина шліфування, м;

$V_{кр}$ − швидкість обертання круга, м/с.

Виходячи із залежностей (8.113) і (8.114), це досягається зменшенням параметрів σ, t, $V_{дет}$ і, відповідно, продуктивності обробки. Причому, для забезпечення заданої величини y потрібно більш суттєво зменшувати продуктивність обробки. Це вимагає застосування як попереднього, так і остаточного шліфування. Під час попереднього шліфування доцільно забезпечити задану температуру θ шляхом вибору оптимальної глибини шліфування t, яка задовольняє залежність (8.114). Під час остаточного шліфування необхідно забезпечити задану величину $y_{пр}$, встановлюючи глибину шліфування t відповідно до залежності $y_{пр} = t/\varepsilon$, а кількість проходів кругам n_1 під час виходжування відповідно до залежності $y_{пр} = t/\varepsilon^{n_1}$, де $\varepsilon = (1+\alpha)$ − уточнення; $\alpha = \frac{C \cdot K_ш \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дет}}$ − безрозмірний параметр.

Розрахунками встановлено, що зі збільшенням величин n_1 і α (зменшенням швидкості деталі $V_{дет}$) в однакову кількість разів (що відповідає однаковому зменшенню продуктивності обробки) безрозмірна величина $y_{пр}/t$ зменшується із різною інтенсивністю (рис. 8.49,а): більш інтенсивно − зі збільшенням n_1. Це указує на ефективність застосування схеми виходжування порівняно із шліфуванням за жорсткою схемою. Установлено також, що за значенням $\alpha = \alpha_0 \geq 1$ величина $y_{пр}/t$ зі збільшенням n_1 зменшується за лінійною залежністю (рис. 8.49,б).

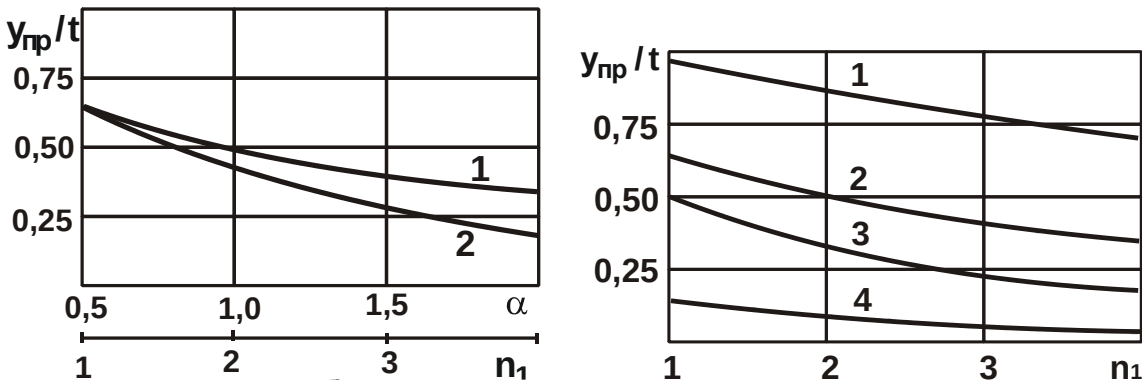


Рисунок 8.49 – Залежності безрозмірної величини $y_{пр}/t$ від параметра α (1) і кількості проходів круга n_1 (2) для $\alpha_0 = 0{,}5$ (а) та від кількості проходів круга n_1 під час виходжування (б):
1 – $\alpha_0 = 0{,}1$; 2 – $\alpha_0 = 0{,}5$; 3 – $\alpha_0 = 1$; 4 – $\alpha_0 = 5$

Це перевершує інтенсивність зменшення величини $y_{пр}/t$ зі збільшенням n_1 за умови зменшення глибини шліфування t. Тому за умови $\alpha < 1$ (або $\varepsilon < 2$) доцільно використовувати шліфування за жорсткою схемою, а за умови $\alpha \geq 1$ (або $\varepsilon > 2$) – шліфування за схемою виходжування, виключаючи із технологічного процесу операцію остаточного шліфування. Таким чином, коефіцієнт α, а, отже, і уточнення $\varepsilon = (1+\alpha)$ дозволяють визначити оптимальний маршрут обробки (рис. 8.50). Однак для цього необхідно розрахунково-експериментальним шляхом встановити значення уточнення ε.

Для оцінювання достовірності отриманих теоретичних рішень проведено експериментальні дослідження процесу зубошліфування зубчастих коліс із сталі 18ХГН2МФБ твердістю HRC 57 ... 63. Встановлено, що умовне напруження різання (енергоємність обробки) σ змінюється в межах (13,117 … 16,964)·10^3 МПа, а відношення l_1/l_2, яке визначено розрахунково-експериментальним шляхом (рис. 8.51), не перевищує значення 0,2. Тому на кожному наступному проході круга не можна усунути пошкоджений на попередньому проході (у результаті теплової дії) поверхневий шар деталі. Підвищити якість обробки у цих умовах можна лише завдяки зменшенню температури шліфування θ шляхом зменшення енергоємності обробки, що досягається застосуванням кругів із більш високою ріжучою здатністю. Отримані експериментальні дані узгоджуються із теоретичними рішеннями.

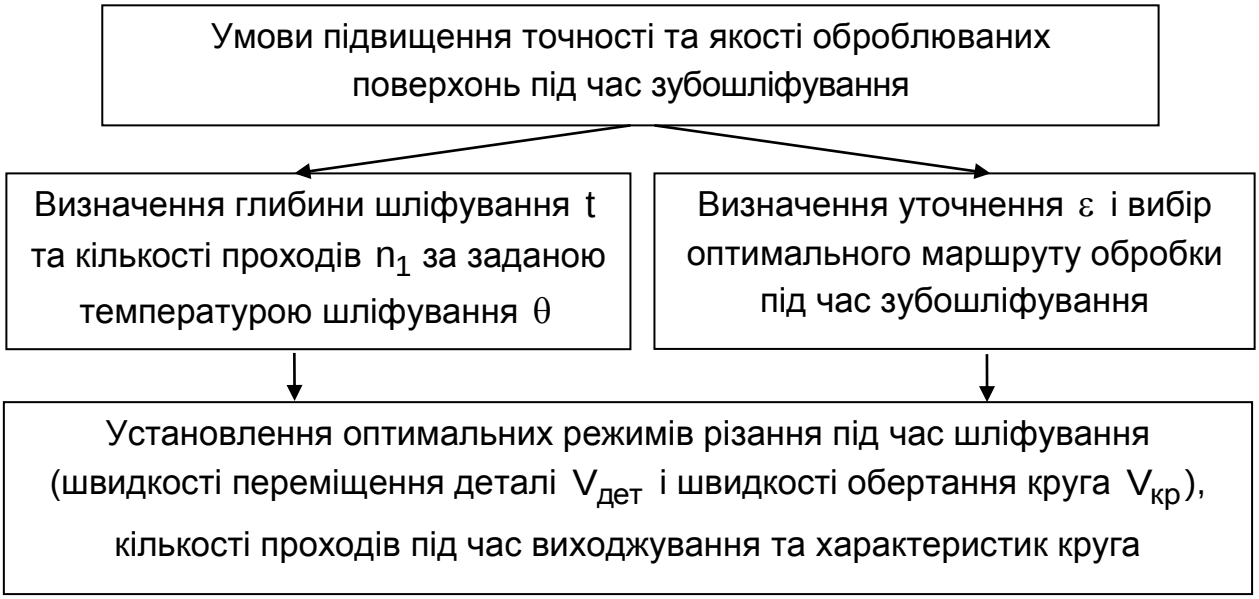


Рисунок 8.50 – Структурна схема умов підвищення точності та якості оброблюваних поверхонь під час зубошліфування

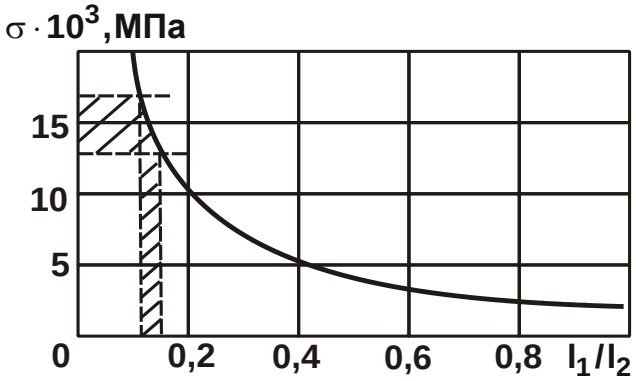


Рисунок 8.51 – Залежність умовного напруження різання σ від відношення l_1/l_2 за температури шліфування $\theta = 800$ °С

Із застосуванням експериментальних значень енергоємності обробки виконано розрахунки за залежностями (8.110) і (8.111) оптимальних параметрів режиму зубошліфування зубчастого колеса із сталі 18ХГН2МФБ твердістю HRC 57 ... 63 за критерієм найменшого штучного часу обробки із урахуванням обмеження за температурою шліфування θ. Теоретично встановлено, що під час зубошліфування на верстаті моделі 5843ЕМ (що працює за методом обкатування кругом конічного профілю 2П 400×32×127 24А10СМ2К6) знімання припуску величиною 0,4 мм можна виконати за 5 проходів круга із глибиною шліфування $t = 0{,}08$ мм і швидкістю переміщення деталі $V_{дет} = 12$ м/хв. Вихідні дані:

$c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/(м^3·град); $\lambda = 42$ Вт/(м·град.); $\sigma = 15 \cdot 10^3$ МПа; $\theta = 800$ °С; $П = 0{,}4$ мм; $L = 100$ мм; $\tau_{доп} = 0{,}5$ с; $B = 6{,}32$ мм. Експериментальні дослідження показали, що виключити утворення припікань на оброблюваній поверхні під час шліфування цим кругом можна, встановлюючи глибину шліфування не більше 0,07 мм (рис. 8.52). Це указує на незначну розбіжність розрахункових і експериментальних даних (у межах 15 %) та на достовірність отриманих теоретичних рішень.

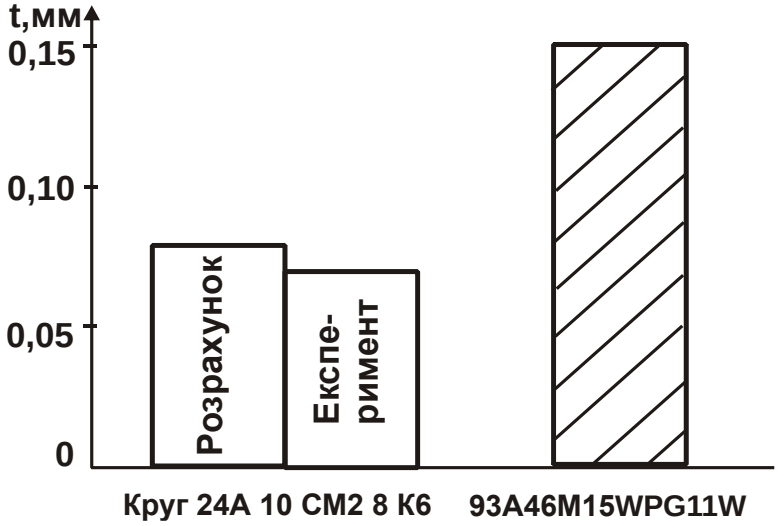


Рисунок 8.52 – Розрахункові та експериментальні значення граничної глибини шліфування t

Експериментально встановлено, що під час шліфування високопористим абразивним кругом T1ESP 400×32×127 93A46M15WPG11W, який характеризується підвищеною ріжучою здатністю, можна збільшити граничну глибину шліфування і швидкість обертання круга (за яких виключається утворення на оброблюваних поверхнях припікань) відповідно до значень 0,15 мм і 40 м/с. Застосування даного круга забезпечує знімання заданого припуску 0,4 мм за 4 проходи, виключає утворення припікань і мікротріщин на оброблюваних поверхнях. При цьому збільшуються стійкість круга між правленнями (із однієї до трьох робочих змін) і строк роботи круга до його повного зношування (із одного до трьох місяців). Отримані результати указують на можливість збільшення продуктивності обробки та можливість реалізації встановленого теоретично найменшого штучного часу обробки для заданої температури шліфування.

8.2.6. Визначення умов зменшення температури різання під час високошвидкісної обробки лезовими інструментами та вибір оптимальних режимів різання

Сучасні ріжучі лезові інструменти це, зазвичай, конструкції збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, що характеризуються високою стійкістю і здатністю працювати в умовах високошвидкісного різання. Разом із тим, ці інструменти коштовні й вимагають ретельного вибору оптимальних режимів різання за критерієм собівартості обробки. Як відомо, стійкість ріжучих інструментів в умовах високошвидкісного різання визначається, головним чином, температурою різання. Тому актуальна проблема теоретичного визначення теплового балансу і температури, що виникає під час високошвидкісного різання в умовній площині зсуву матеріалу, на передній і задній поверхнях інструмента, та обґрунтування умов її зменшення, вибір оптимальних режимів різання за критеріями максимально можливої продуктивності й мінімальної технологічної собівартості обробки.

Для цього спочатку визначимо температуру, що виникає на передній поверхні інструмента (різця) із нульовим переднім кутом ($\gamma = 0$). Стружку, що утворюється, представимо у вигляді безлічі елементарних нескінченно тонких адіабатичних стержнів, кожний із яких нагрівається до певної величини за час τ тертя із передньою поверхнею різця (рис. 8.53). На основі теоретичного підходу до визначення температури різання, запропонованого у роботі [27], отримано аналітичні залежності для визначення температур, що виникають у різці та стружці:

$$\theta_{max\,1} = \frac{(q_1 - q_{11})\cdot H}{\lambda_i}; \qquad \theta_{max\,2} = \frac{q_{11}\cdot l_2}{\lambda_м}, \tag{8.115}$$

де $q_1 = q_{11} + q_{12}$ – сумарна щільність теплового потоку, що виникає на передній поверхні різця, Вт/м^2;

q_{11}, q_{12} – щільності теплового потоку, що надходить, відповідно, до різця та стружки, Вт/м^2;

H – товщина твердосплавної пластини, м;

$l_2 = \sqrt{\frac{2\cdot\lambda_м}{c_м\cdot\rho_м}\cdot\tau}$ – глибина проникнення тепла в адіабатичний стержень, м;

$c_м$ – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·К);

$\rho_м$ – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м^2;

$\lambda_і$, $\lambda_м$ – коефіцієнти теплопровідності інструментального та оброблюваного матеріалів, Вт/(м·К).

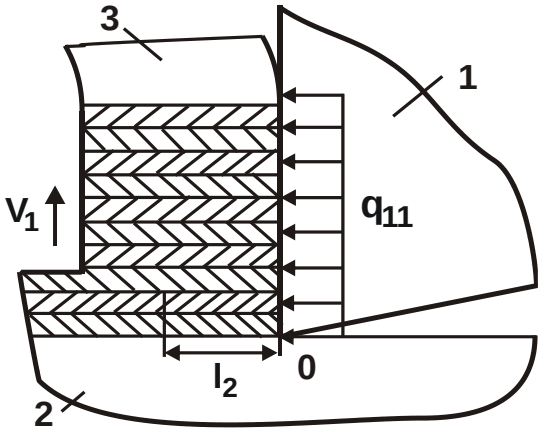


Рисунок 8.53 – Розрахункова схема температури стружки у процесі різання: 1 − різець; 2 − оброблюваний матеріал; 3 − стружка

За умови $\theta_{max\,1} = \theta_{max\,2}$ отримано наступні залежності:

$$q_{11} = q_1 \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{l_2}{H} \cdot \frac{\lambda_і}{\lambda_м}\right)}; \qquad \theta_{max\,2} = \frac{q_1}{\lambda_м} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{l_2} + \frac{1}{H} \cdot \frac{\lambda_і}{\lambda_м}\right)}. \qquad (8.116)$$

Розрахунками встановлено, що $l_2 < H = 5 \ldots 10$ мм. Отже, величина q_{11} буде незначно відрізнятися від q_1. Із цього витікає, що основна частина тепла, що утворюється у результаті тертя стружки із передньою поверхнею різця, надходить до стружки, а в інструмент надходить незначна частина тепла. Це підтверджується відомими експериментальними даними, згідно яким під час точіння сталі до стружки надходить найбільша кількість тепла (80 % і більше), а до ріжучого інструменту – найменша кількість тепла (1 – 3 %). Тоді температура $\theta_{max\,2}$ визначиться:

$$\theta_{max\,2} = \sigma_{ст} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot V}{c_м \cdot \rho_м \cdot \lambda_м}} = \sigma_{ст} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Q_{пит}}{c_м \cdot \rho_м \cdot \lambda_м}}, \qquad (8.117)$$

де $\sigma_{ст}$ − межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, Н/м^2;

f – коефіцієнт тертя інструментального та оброблюваного матеріалів;

a − товщина зрізу, м;

V – швидкість різання, м/с;

$Q_{пит} = a \cdot V$ – питома продуктивність обробки (що приходиться на одиницю ширини зрізу), м^2/с.

Як видно, між температурою $\theta_{max\,2}$ і $Q_{пит}$ існує цілком однозначний зв'язок, тобто граничному значенню $\theta_{max\,2}$ відповідає граничне значення $Q_{пит}$. Отже, виходячи із залежності (8.121), домогтися збільшення питомої продуктивності обробки $Q_{пит}$ (за заданого значення температури $\theta_{max\,2}$) шляхом суттєвого збільшення швидкості різання V не можна. Тому реалізувати високошвидкісне різання можна за умови пропорційного зменшення товщини зрізу a зі збільшенням швидкості різання V. Однак це не приводить до зменшення температури $\theta_{max\,2}$ і, відповідно, збільшення питомої продуктивності обробки $Q_{пит}$.

Аналогічно визначено температуру, що виникає на задній поверхні різця у результаті його тертя із оброблюваним матеріалом:

$$\theta_{max\,2} = f \cdot HV \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot V}{c_м \cdot \rho_м \cdot \lambda_м}}, \qquad (8.118)$$

де HV – твердість оброблюваного матеріалу (за Віккерсом), Н/м^2;

h – довжина площадки зношування на задній поверхні різця, м.

Відмінність значень температур $\theta_{max\,2}$, розрахованих за залежностями (8.117) і (8.118), визначається розходженням значень a і h, а також значень HV і $\sigma_{ст}$. Як відомо, для конструкційних загартованих сталей відношення $HV / \sigma_{ст} \approx 3$. Отже, за умови $a = h$ температура, що виникає на задній поверхні різця, буде перевищувати температуру, що виникає на передній поверхні різця. Стійкість інструмента в цьому випадку визначається його зношуванням на задній поверхні.

За умови $a > h$, навпаки, температура, що виникає на задній поверхні інструмента, буде менше температури, що виникає на передній поверхні інструмента. У цьому випадку, збільшуючи швидкість різання V і пропорційно зменшуючи параметр h у залежності (8.118), можна домогтися суттєвого підвищення питомої продуктивності обробки $Q_{пит}$ (за заданого значення температури $\theta_{max\,2}$). Однак, як витікає із залежності (8.117), збільшення $Q_{пит}$ обмежене температурою, що виникає на передній поверхні інструмента. Тому в цьому випадку ефективно збільшувати не швидкість різання V, а параметр h до максимально можливого значення із метою підвищення стійкості інструмента.

Температура, що виникає в умовній площині зсуву оброблюваного матеріалу, описується залежністю [27]:

$$\theta_{max} = \frac{\sigma_{ст}}{c_м \cdot \rho_м \cdot tg\beta}, \qquad (8.119)$$

де $\beta = 45^o + \frac{\gamma - \psi}{2}$ − умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу;

γ – передній кут інструмента;

ψ − умовний кут тертя на передній поверхні інструмента, град.

Виходячи із залежності (8.119), зменшити температуру θ_{max} можна лише збільшенням кута β шляхом збільшення різниці кутів $(\gamma - \psi)$.

Таку саму за структурою залежність отримано під час встановлення залежності (8.121) для визначення температури, що виникає на передній поверхні різця із позитивним переднім кутом $\gamma > 0$:

$$\theta_{max\,2} = \frac{\sigma_{ст}}{c_м \cdot \rho_м \cdot tg\beta} \cdot U, \qquad (8.120)$$

де $U = 0{,}5 \cdot \left(1 - tg^2\beta\right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot c_м \cdot \rho_м \cdot a \cdot V}{\lambda_м} \cdot \frac{1}{(tg\beta + tg\psi)}}$ – безрозмірна функція.

На рис. 8.54 наведено розрахункові значення безрозмірної функції U для вихідних даних: коефіцієнт температуропровідності оброблюваного матеріалу (сталі ШХ15) $\frac{\lambda_м}{c_м \cdot \rho_м} = 8{,}4 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $a = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; $V = 600$ м/хв; $\psi = 30^o$.

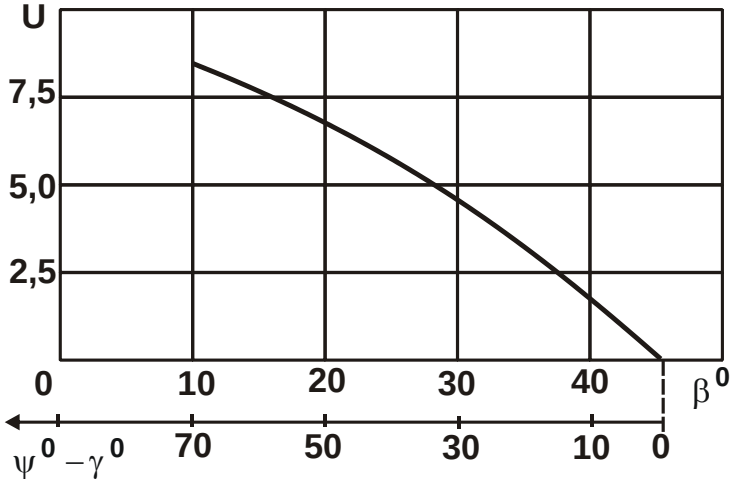


Рисунок 8.54 – Залежність безрозмірної функції U
від кута β і різності кутів $(\gamma - \psi)$

Для реальних значень кута $\beta = 10^o \ldots 30^o$ безрозмірна функція U приймає достатньо великі значення – $U = 8{,}6 \ldots 4{,}8$. Отже, температура θ_{max}, що виникає на передній поверхні інструмента у результаті його тертя із стружкою, значно перевищує температуру, що виникає в умовній площині зсуву матеріалу.

За відносно невеликого значення $(\psi - \gamma) < 10^o$ температура різання, що виникає в умовній площині зсуву матеріалу, може перевищувати температуру різання, що утворюється на передній поверхні інструмента (рис. 8.54).

Із порівняння залежностей (8.117) і (8.120) видно, що за переднім кутом інструмента $\gamma > 0$ температура $\theta_{max\,2}$ менше, ніж за кутом $\gamma = 0$. Причому, завдяки збільшенню кута β температуру $\theta_{max\,2}$ можна суттєво зменшити. Це дозволить для заданого значення $\theta_{max\,2}$ збільшити питому продуктивність обробки $Q_{пит} = a \cdot V$ шляхом збільшення товщини зрізу a або швидкості різання V.

Тому доцільно збільшувати товщину зрізу a, оскільки в цьому випадку в залежності (8.118) можна збільшити величину h до граничного значення, тим самим збільшити і стійкість інструмента (за заданого значення температури $\theta_{max\,2}$). Якщо ж збільшувати $Q_{пит} = a \cdot V$ шляхом збільшення швидкості різання V, то в залежності (8.118) величину h необхідно зменшувати для збереження заданого значення температури $\theta_{max\,2}$. А це приведе до недовикористання ріжучих властивостей інструмента. Тому слід реалізувати перший випадок шляхом встановлення максимально можливих значень товщини зрізу a та величини h. Тоді оптимальну швидкість різання можна визначити за умови досягнення граничної температури $\theta_{max\,2}$, відповідно до залежності (8.118). Отже, необхідно встановлювати максимально можливими подачу S і глибину різання t, а швидкість різання V вибирати за умови оптимальної стійкості інструмента T, що відповідає граничній температурі різання $\theta_{max\,2}$.

Отримане теоретичне рішення підтверджується відомими експериментальними даними [27], за якими в умовах точіння подачу і глибину різання приймають максимально можливими (виходячи із міцності ріжучого клина інструмента і величини припуску, що знімається), а швидкість різання вибирають на основі емпіричної залежності для визначення стійкості інструмента:

$$T = \frac{C_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}, \qquad (8.121)$$

де C_4, m_1, q, p – постійні, що визначаються експериментально.

Для даної залежності справедливі умови: $m_1 > p > q$; $m_1 > 1$. Отже, із погляду збільшення стійкості інструмента T доцільно максимально збільшувати параметри режиму різання S і t та меншою мірою – швидкість різання V. Це ще одне підтвердження правильності отриманого теоретичного рішення, яке полягає в тому, що збільшувати швидкість різання V необхідно лише після того, як буде реалізовано максимально можливі значення подачі S і глибини різання t. Із цього витікає, що навіть для сучасних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями, які характеризуються високими ріжучими властивостями, важко домогтися суттєвого збільшення швидкості різання V. Як показано раніше, згідно залежностей (8.117) і (8.118), її можна значно збільшити за умови зменшення параметрів a і h, що не завжди економічно доцільно. Дану умову економічно обґрунтовано й можна застосовувати під час фінішної обробки (тонкого й алмазного точіння), де передбачено відносно невеликі значення подачі та глибини різання. У цьому випадку в максимальному ступені можна реалізувати переваги процесу високошвидкісного різання.

Із метою оцінювання вірогідності отриманих результатів проведено теоретичний аналіз технологічної собівартості обробки із урахуванням змінних статей витрат, пов'язаних із заробітною платою робітника, витратами на інструмент і його заміну. Установлено, що зі збільшенням продуктивності обробки (швидкості різання V під час поздовжнього точіння) собівартість обробки змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку мінімуму (рис. 8.55). Екстремальні значення собівартості C_{min} і продуктивності $Q_{екстр}$ обробки, а також оптимальної (економічної) стійкості інструмента $T_{екстр}$ із урахуванням залежності (8.121) описуються залежностями:

$$C_{min} = \frac{N \cdot \vartheta \cdot S_{час} \cdot k}{Q_{екстр}} \cdot \left[1 + \frac{1}{(m_1 - 1)}\right] =$$

$$= \frac{N \cdot \vartheta \cdot \left(t_c \cdot S_{час} \cdot k + Ц\right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \left(S_{час} \cdot k\right)^{1-\frac{1}{m_1}}}{C_4^{\frac{1}{m_1}} \cdot S^{1-\frac{p}{m_1}} \cdot t^{1-\frac{q}{m_1}}} \cdot \frac{m_1}{(m_1 - 1)^{1-\frac{1}{m_1}}}; \qquad (8.122)$$

$$Q_{екстр} = V_{екстр} \cdot S \cdot t = \left[\frac{C_4}{T_{екстр}} \cdot S^{m_1 - p} \cdot t^{m_1 - q} \right]^{\frac{1}{m_1}}; \qquad (8.123)$$

$$T_{екстр} = \frac{(t_c \cdot S_{час} \cdot k + Ц) \cdot (m_1 - 1)}{S_{час} \cdot k}, \qquad (8.124)$$

де N – кількість оброблюваних деталей, шт.;

ϑ – об'єм металу, що знімається із однієї деталі, м^3;

$V_{екстр}$ – екстремальне значення швидкості різання, м/хв;

t – глибина різання, м;

S – подача, м/об.;

$S_{час}$ – тарифна ставка робітника, грн./с;

k – коефіцієнт, що враховує нарахування на тарифну ставку робітника;

t_c – час заміни інструмента, с;

Ц – ціна інструмента, грн.

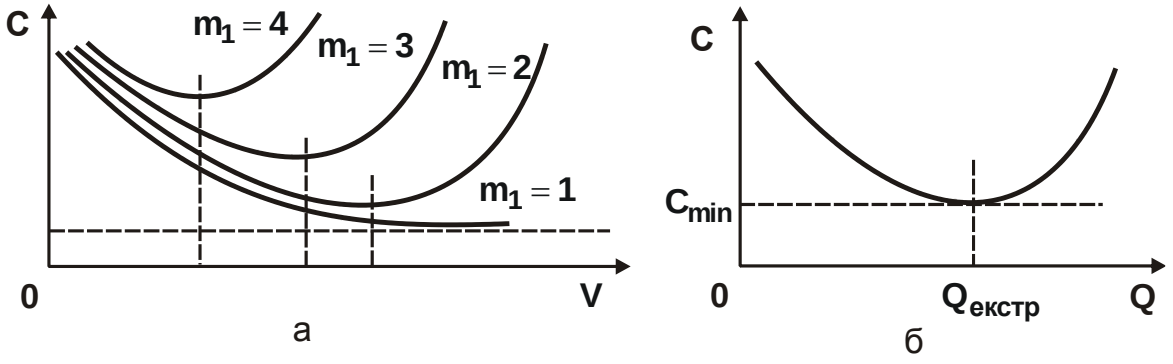


Рисунок 8.55 – Загальний вигляд залежності собівартості обробки C від швидкості різання V (а) і продуктивності обробки Q (б)

Як витікає із наведених залежностей, зменшити собівартість обробки C_{min} можна, в першу чергу, завдяки збільшенню продуктивності обробки $Q_{екстр}$. Збільшення $Q_{екстр}$ обумовлено збільшенням $V_{екстр}$ шляхом зменшення стійкості інструмента $T_{екстр}$. У свою чергу, зменшення $T_{екстр}$ пов'язане зі зменшенням параметрів t_c, Ц і m_1. Отже, зменшенням цих параметрів можна зменшити C_{min}. У загальному випадку це досягається застосуванням збірних конструкцій твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, оскільки вони забезпе-

чують найменший час заміни інструмента t_c (у даному випадку – ріжучих твердосплавних пластин).

Ціна збірного інструмента включає ціну його корпусу і ціну ріжучих пластин. Оскільки корпус інструмента допускає його багаторазове використання, то параметром Ц можна розглядати вартість твердосплавної пластини, яка менше вартості монолітного твердосплавного інструмента. Крім того, як відзначалося раніше, час заміни пластини t_c менше часу, який витрачається на заточення монолітного інструмента. Для зменшення параметра m_1 необхідно застосовувати зносостійкі інструментальні матеріали і покриття. Експериментально встановлено, що параметр m_1 при цьому можна зменшити до значень 2 … 3, тоді як для твердих сплавів груп ВК і ТК він більше ($m_1 = 4 \ldots 8$). Підтвердженням тому є графіки стійкості твердосплавних різців під час точіння заготовки із сталі 45 (рис. 8.56). Як видно, стійкість різців із твердих сплавів ТТ8115, ТТ8125, ТТ8135 багаторазово перевищує стійкість різця із твердого сплаву Т15К6.

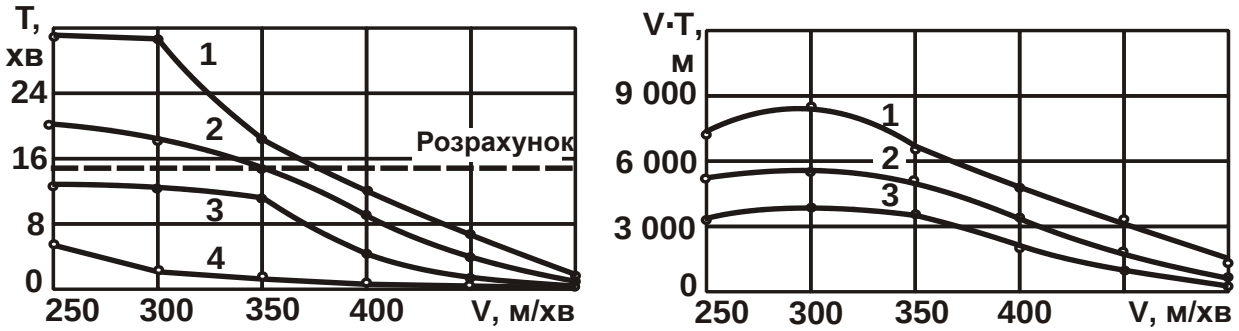


Рисунок 8.56 – Залежність стійкості інструмента T (а) і добутку параметрів $V \cdot T$ (б) від швидкості різання V під час точіння сталі 45 різцями із твердосплавними пластинами: 1 – ТТ8115; 2 – ТТ8125; 3 – ТТ8135; 4 – Т15К6 ($t = 2$ мм, $S = 0{,}3$ мм/об.)

Таким чином, розроблено методику вибору раціональних параметрів операцій механічної обробки за критерієм найменшої собівартості. У її основу покладено наведену раніше залежність для визначення оптимальної (економічної) стійкості інструмента $T_{екстр}$ із урахуванням безрозмірного параметра m_1, який установлюється експериментально (рис. 8.56,а). Наприклад, для вихідних даних: Ц = 3 грн (вартість умов-

ної ріжучої кромки пластини із твердого сплаву ТТ8125); $t_c = 2$ хв; $S_{час} = 24$ грн/година; $k = 1{,}37$ і $m_1 = 3$, отримано $T_{екстр} = 15$ хв (на рис. 8.56,а показано пунктирною лінією). Це відповідає швидкості різання $V = 350$ м/хв, що незначно перевищує швидкість різання ($V = 300$ м/хв), яка досягається в точці максимуму добутку $V \cdot T$ (рис. 8.56,б). Таким шляхом визначають оптимальну швидкість різання.

Із використанням запропонованої методики розрахунку визначено раціональні параметри операцій механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем (плунжера, п'яти і втулки сферичної, показаних на рис. 8.57 [27]).



а б в

Рисунок 8.57 – Деталі гідравлічних систем:
а – плунжер; б – п'ята; в – втулка сферична

Так, установлено, що застосування сучасного збірного різця зі змінною багатогранною пластиною із твердого сплаву ТТ8115 (WC – 79 %; Ti – 15 %; Co – 6 %) зі зносостійким покриттям на операції чистового точіння плунжера, виготовленого із сталі 40ХФ2, дозволяє реалізувати режим різання: $V = 250$ м/хв, $S = 0{,}12$ мм/об., $t = 0{,}3$ мм. За існуючою технологією дану операцію виконали із використанням звичайного різця із твердого сплаву Т15К6 із режимом різання: $V = 40$ м/хв, $S = 0{,}15$ мм/об., $t = 0{,}1$ мм. У результаті досягнуто майже 10-кратне збільшення продуктивності обробки й майже таке зменшення собівартості обробки.

8.3. Нанотехнологічне забезпечення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин

Проблема підвищення ефективності виготовлення машинобудівної продукції багато в чому залежить від показників якості та точності виготовлення деталей машин, до яких у сучасних умовах пред'яв-

ляються високі вимоги. Особливо це стосується параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь, які обчислюються кількома десятками нанометрів, а у деяких випадках навіть нанометрами. Звичайно, забезпечити на практиці такі високі показники шорсткості оброблюваних поверхонь надзвичайно складно, навіть застосовуючи високоефективні технології фінішної абразивної обробки [18, 127]. Для цього слід застосовувати сучасні технології механічної обробки на рівні нанотехнологій.

Як зазначено раніше, своєму виникненню та розвитку нанотехнології значною мірою зобов'язані створенню безшумних ходових гвинтів для підводних човнів завдяки суттєвому зменшенню шорсткості оброблюваних поверхонь до рівнів, що обчислюються нанометрами. На цій основі розроблено нові технологічні методи фінішної абразивної обробки (притирання, обробки вільним абразивом тощо), які, за суттю, є нанотехнологіями, що дозволили вирішити важливу та актуальну проблему виготовлення безшумних ходових гвинтів.

Ще одним прикладом ефективного застосування нанотехнологій фінішної абразивної обробки в машинобудуванні необхідно розглядати створення світловідбивних поверхонь на довгомірних пружних виносних елементах у вигляді трубок із тонких пружних пружинних стрічок (антен), що встановлюються на космічні літаючі апарати для роботи в космічному просторі [116]. У таких умовах температура досягає 150 °С. Під дією світлового потоку це призводить до значного нерівномірного нагрівання антен та їх температурного деформування, що не дозволяє їх ефективно експлуатувати. Для зменшення температурних деформацій на металеві поверхні антен запропоновано наносити різні фарби та світловідбивні покриття, проте це не дозволило у повному обсязі вирішити поставлену проблему. Більш ефективним технічним рішенням стало забезпечення оптичних характеристик світловідбивних поверхонь антен шляхом зменшення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a, R_z і R_{max} під час фінішної абразивної обробки до рівнів, що обчислюються нанометричними значеннями. Іншими словами, шляхом створення дзеркальних поверхонь із коефіцієнтом відбиття, близьким до одиниці. Для цього розроблено технологічні процеси абразивного полірування із застосуванням спеціальних складів абразивних порошків зернистістю 1 мкм і менше (1/0,8; 0,8/0,6; 0,6/0,4; …), тобто на рівні нанотехнологій, які дозволили забезпечити параметр

шорсткості оброблюваних поверхонь $R_a < 0{,}1$ мкм, а відношення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь $R_{max}/R_a > 30$. За цих умов обробки досягнуто найбільшого світловідбивного ефекту обробленої поверхні, що дозволило успішно вирішити проблему зниження температурних деформацій тонких пружних стрічок (антен), що працюють у космічному просторі, та забезпечити їх високу працездатність.

Це технічне рішення отримало також застосування під час обробки дзеркал лазерних установок, виготовлених із міді та її сплавів, берилієвих та інших сплавів із забезпеченням високої відбивної здатності оброблених поверхонь.

Слід зазначити, що проблема суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a, R_z і R_{max} і зараз не втратила своєї значущості. Особливо це стосується виготовлення високоточних виробів, наприклад, отворів у пневмо- і гідроциліндрах, коли потрібно забезпечити параметр шорсткості поверхні $R_a < 0{,}05$ мкм. Традиційно для цього застосовують технології фінішної обробки вільним абразивом. Однак ці технології, як показує практика, дуже трудомісткі, що знижує ефективність обробки. Тому актуальним є завдання нанотехнологічного забезпечення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь за умови суттєвого підвищення продуктивності фінішної абразивної обробки.

У роботі [19] теоретично та експериментально встановлено, що підвищити продуктивність обробки за умови одночасного суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a, R_z і R_{max} можна застосуванням процесу шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці із плосковершинними зернами, утвореними у результаті електроерозійного правлення алмазного круга алмазним олівцем. При цьому під час зовнішнього круглого шліфування твердосплавних виробів досягається значення параметра шорсткості поверхні $R_a < 0{,}1$ мкм, що дозволяє поєднати операції попереднього і остаточного шліфування в одну операцію і підвищити продуктивність обробки.

Значними можливостями зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь характеризуються процеси обробки імпрегнованими шліфувальними кругами та кругами, виготовленими із застосуванням електрогальванічних методів нанесення алмазних зерен на їх робочу поверхність [66].

Під час обробки внутрішніх поверхонь, як показано у роботі [75], ефективним рішенням є застосування схеми внутрішнього поздовжнього шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга із індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання отвору циліндра (рис. 8.58). У результаті досягається значне збільшення довжини дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі, що дозволяє суттєво зменшити параметр шорсткості оброблюваних поверхонь R_a до значення $R_a = 0{,}04$ мкм із забезпеченням високої продуктивності обробки (традиційної для процесів шліфування). Тому цю технологію внутрішнього поздовжнього шліфування слід розглядати достатньо перспективною, оскільки вона одночасно забезпечує високі показники шорсткості обробленої поверхні та продуктивності обробки.



Рисунок 8.58 – Схема обробки шліфуванням отвору у циліндрі

Для визначення умов суттєвого зменшення параметрів шорсткості оброблюваної поверхні під час внутрішнього поздовжнього шліфування слід скористатися спрощеною розрахунковою схемою формування шорсткості оброблюваної поверхні із урахуванням впорядкованого розташування одновисотних конусоподібних абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга (рис. 8.59). У цьому випадку параметр шорсткості поверхні R_{max} визначається за умови:

$$B = 2 \cdot tg\lambda \cdot n \cdot R_{max}, \qquad (8.125)$$

де B – ширина шліфування, м;

2γ – половина кута у вершини конусоподібного абразивного зерна;

n – кількість абразивних зерен, що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні R_{max} .

Звідки

$$R_{max} = \frac{B}{2 \cdot tg\gamma \cdot n} . \qquad (8.126)$$

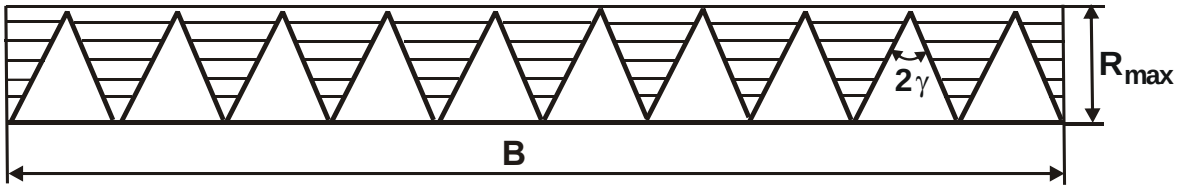


Рисунок 8.59 – Розрахункова схема параметра шорсткості поверхні R_{max} під час внутрішнього шліфування

Як видно, домогтися зменшення параметра шорсткості оброблюваної поверхні R_{max} можна, в основному, шляхом збільшення кількості абразивних зерен n, що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні, за умови їх одношарового (одновисотного) розташування на робочій поверхні шліфувального круга. Для визначення величини n слід скористатися розрахунковими схемами параметрів внутрішнього шліфування, які наведено на рис. 8.60.

В умовах звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування (рис. 8.60,а) величина n визначається аналітичною залежністю:

$$n = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{l}{V_{дет}} , \qquad (8.127)$$

де k – поверхнева концентрація зерен на робочій поверхні шліфувального круга, шт./м^2;

l – довжина дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі, м;

$V_{кр}$, $V_{дет}$ – відповідно, швидкості круга та деталі, м/с;

$\tau = l / V_{дет}$ – час контакту фіксованого поперечного перетину оброблюваної поверхні деталі з шліфувальним кругом, с.

Після підстановки залежності (8.127) у залежність (8.126) отримано:

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot l} . \qquad (8.128)$$

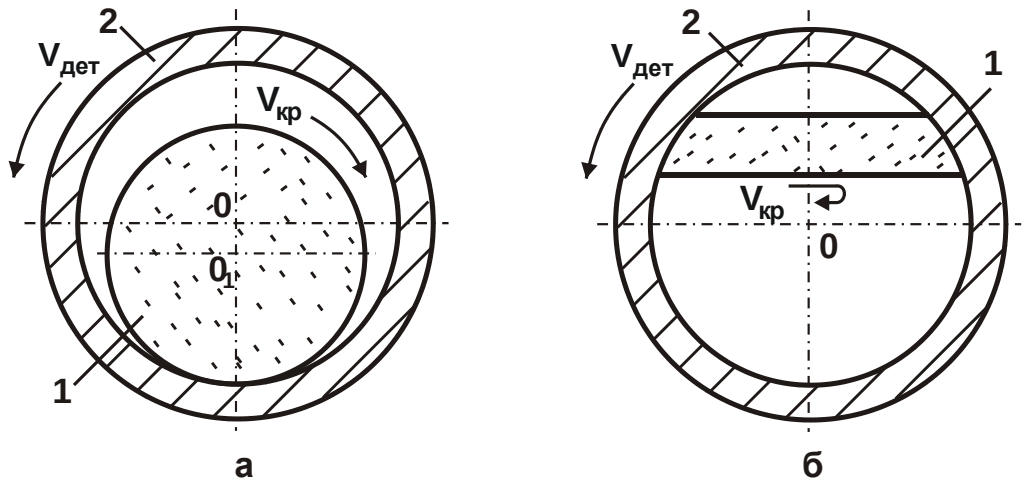


Рисунок 8.60 – Розрахункові схеми параметрів звичайного внутрішнього шліфування (а) і внутрішнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (б): 1 – круг; 2 – деталь

Виходячи із залежності (8.128), основними умовами зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} є зменшення швидкості деталі $V_{дет}$ та збільшення параметрів k, $V_{кр}$ і l.

В умовах внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (рис. 8.60,б) величина n визначається аналітичною залежністю:

$$n = k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot \tau = k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot \frac{l}{S_{позд}}, \qquad (8.129)$$

де $\tau = l / S_{позд}$ – час контакту шліфувального круга із площиною, розташованою перпендикулярно до переміщення шліфувального круга уздовж оброблюваного отвору, с;

$S_{позд}$ – швидкість поздовжньої подачі, м/с;

L – довжина дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі (у поперечному перетині оброблюваного отвору), м;

Після підстановки залежності (8.129) у залежність (8.126) із урахуванням того, що в процесі шліфування відбувається обробка всієї внутрішньої поверхні отвору, довжина якої у поперечному перетині оброблюваного отвору дорівнює $B = \pi \cdot D$, маємо:

$$R_{max} = \frac{\pi \cdot D \cdot S_{прод}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot l}, \qquad (8.130)$$

де D – діаметр оброблюваного отвору, м.

У даному випадку зменшити параметр шорсткості поверхні R_{max} можна зменшенням швидкості поздовжньої подачі $S_{позд}$ та збільшенням параметрів k, L, $V_{кр}$ і I. Отже, ефект обробки обумовлено, по-перше, завдяки збільшенню площі контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю, по-друге, завдяки одношаровому розташуванню абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга.

Забезпечити одношарове (одновисотне) розташування абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга можна, наприклад, шляхом наклеювання на робочу поверхню м'якого повстяного (фетрового) шліфувального круга за допомогою силікатного клею (або рідкого скла) абразивного порошку 63С 20П. Потім, протягом 3 – 5 годин, його висушування. У цьому випадку можливе "утопання" під час шліфування абразивних зерен у м'яку зв'язку круга. Це призводить до зменшення різновисотного виступу абразивних зерен над рівнем зв'язки круга та до зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max}, чого неможливо досягти в умовах внутрішнього шліфування звичайним абразивним кругом.

Виходячи із залежностей (8.130) і (8.128), справедливі співвідношення: $\pi \cdot D > L$, $S_{позд} < V_{дет}$, які протилежно впливають на параметр шорсткості поверхні R_{max} у залежності (8.130). Отже, порівнюючи залежності (8.130) і (8.128), складно оцінити переваги двох схем внутрішнього поздовжнього шліфування, що розглядаються, з точки зору можливостей зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max}. Для цього необхідно перетворити залежність (8.130), виражаючи $S_{позд}$ через $V_{дет}$ із урахуванням відомого співвідношення для визначення часу обробки за один оберт оброблюваної деталі:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{V_{дет}} = \frac{B_1}{S_{позд}}, \qquad (8.131)$$

де B_1 – поздовжня подача за один оберт оброблюваної деталі, м/об.

Звідки

$$S_{позд} = V_{дет} \cdot \frac{B_1}{\pi \cdot D}. \qquad (8.132)$$

Після підстановки залежності (8.132) у залежність (8.130) отримано:

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot l} \cdot \frac{B_1}{L}. \qquad (8.133)$$

Залежність (8.133) аналогічна залежності (8.128), яку отримано для визначення параметра шорсткості поверхні R_{max} під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування. Відмінність полягає лише у наявності в залежності (8.133) відношення B_1/L, яке завжди менше одиниці. Отже, застосування схеми внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга та деталі (рис. 8.60,б), порівняно із схемою звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування (рис. 8.60,а), дозволяє суттєво зменшити параметр шорсткості поверхні R_{max}. Чим менше параметр B_1 і більше параметр L, тим менше параметр шорсткості поверхні R_{max}.

Відношення B_1/L у залежності (8.133) можна розглядати як відношення ширини шліфування під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування та внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (рис. 8.60,б). Оскільки завжди виконується умова $B_1 < L$, то параметр шорсткості поверхні R_{max} під час внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі завжди менше, чим під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування.

Для двох розглянутих схем шліфування параметр l виражається:

$$l = \sqrt{D_{кр} \cdot R_{max}}\ , \qquad (8.134)$$

де $D_{кр}$ – діаметр шліфувального круга, м.

Тоді, виходячи із залежності (8.128), маємо:

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{D_{кр} \cdot R_{max}}}\ . \qquad (8.135)$$

Звідки

$$R_{max} = \sqrt[3]{\left(\frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}\right)^2 \cdot \frac{1}{D_{кр}}}\ . \qquad (8.136)$$

Виходячи із залежностей (8.133) і (8.134), маємо:

$$R_{max} = \sqrt[3]{\left(\frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}} \cdot \frac{B_1}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{D_{кр}}}\ . \qquad (8.137)$$

Таким чином, у другому випадку, згідно залежності (8.137), тобто під час внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі, параметр шорсткості по-

верхні R_{max} менше, ніж під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування. Визначимо час обробки τ і продуктивність обробки Q для двох випадків:

$$\tau = \frac{H}{S_{позд}}, \qquad (8.138)$$

де H – висота циліндра, м.

Отже, у двох випадках час обробки τ однаковий, за умови, що обробка здійснюється з однаковими значеннями параметрів режиму шліфування: $S_{позд}$ і $V_{дет}$. Відповідно, і продуктивність обробки Q буде однаковою, виходячи із залежності

$$Q = \pi \cdot D \cdot S_{позд} \cdot t = B_1 \cdot V_{дет} \cdot t, \qquad (8.139)$$

де t – глибина шліфування, м.

Таким чином, ефект зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} під час внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі обумовлено тим, що формування шорсткості поверхні відбувається із швидкістю $S_{позд}$, а не із швидкістю $V_{дет}$ (як це відбувається під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування). Отже, зменшення швидкості формування шорсткості поверхні зі значення $V_{дет}$ до значення $S_{позд}$ дозволяє зменшити параметр R_{max}. Причому, як витікає із залежності (8.133), чим більше параметр L і менше параметр B_1, тим менше параметр R_{max}. Це є принципово позитивною відмінністю схеми внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (рис. 8.60,б) від схеми звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування (рис. 8.60,а).

Таким чином встановлено, що найбільший ефект обробки отвору з погляду зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} можна досягнути під час внутрішнього поздовжнього шліфування торцевою поверхнею круга, що має форму кола, та забезпечує найбільшу площу контакту з оброблюваним отвором (рис. 8.60,б). Це також забезпечує формування шліфувальних рисок у напрямі вісі оброблюваного отвору циліндра, що зменшує інтенсивність тертя поршня (штока) з робочою поверхнею отвору в гідро- або пневмоциліндрі та підвищує його працездатність внаслідок зменшення зношування кілець ущільнювачів. Впро-

вадження у виробництво даної технології внутрішнього поздовжнього шліфування отворів у пневмо- та гідроциліндрах замість традиційних методів фінішної абразивної обробки дозволило значно підвищити параметри якості та продуктивність обробки, зменшити трудомісткість обробки.

Для більш повного уявлення щодо розглянутих технологічних рішень слід звернутися до підручників, монографій та навчальних посібників, підготовлених авторами даної роботи [26, 33, 61, 65, 96, 102].







Запитання для самостійного контролю

1. Виходячи із аналітичних залежностей, поясніть, які параметри процесу різання найбільше впливають на складові сили різання?
2. Поясніть сутність умовного напруження різання.
3. Чому під час шліфування сили різання більше, чим під час різання лезовими інструментами?
4. Що означає поняття "точність обробки" та від яких параметрів точність обробки залежить?
5. Що означає поняття "початковий натяг в технологічній системі під час шліфування"?
6. Від яких параметрів залежить величина пружного переміщення під час обробки різанням?
7. У чому полягає сутність оптимального автоматизованого циклу круглого шліфування?
8. За якої схеми круглого шліфування можна забезпечити підвищення точності та продуктивності обробки?
9. У чому полягає ефективність застосування схеми зубошліфування за методом профільного копіювання?
10. Назвіть умови підвищення точності та продуктивності обробки отворів мірними лезовими інструментами.
11. Поясніть сутність процесів високошвидкісного розфрезерування та розточування отворів.
12. Поясніть розрахункову схему параметрів теплового процесу під час шліфування.
13. Як змінюється температура різання із часом обробки? Які параметри найбільше впливають на температуру різання?
14. Який ефект обробки досягається у результаті реалізації сталого теплового процесу?
15. У чому полягає сутність поняття "товщина дефектного шару обробленої деталі" та як воно впливає на якість обробки?
16. Відмінності схем глибинного і багатопрохідного шліфування?
17. За яких параметрів можна зменшити собівартість обробки?
18. У чому полягає сутність нанотехнологічного забезпечення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин.

Література: [18, 19, 26, 27,33, 49, 50, 61, 65 – 68, 75, 92, 96, 99, 102, 106 – 108, 116, 127, 128].

Розділ 9. Сучасні технології у хімічній промисловості та будівельній сфері

9.1. Характеристика технологій у хімічній промисловості

9.1.1. Хімічна промисловість України

Хімічна промисловість України – це комплекс галузей промисловості, який забезпечує всі галузі господарства країни хімічними технологічними матеріалами та виготовляє товари масового споживання (рис. 9.1). Вона містить: гірничо-хімічну; основну хімію (сірчано-кислотну, содову, виробництво добрив); хімію органічного синтезу (нафтохімію, виробництво полімерів) [17].



Рисунок 9.1 – Підприємства хімічної промисловості

Сировинна база: кам'яне вугілля, нафта, кам'яна і калійна сіль; фосфорити, сірка, крейда, вапняки.

Гірничо-хімічна галузь: видобування сірки, кухонної і калійної солей.

Виробництво добрив. Виробництво азотних добрив здійснюють на коксохімічних заводах, у районах видобутку газу та поблизу газопроводів на основі синтезу азоту, повітря і водню, виділеного із відходів коксохімічного та доменного виробництва, природного газу.

Виробництво фосфорних добрив здійснюють на основі імпортної сировини в районах сільськогосподарчих виробництв, у місцях виробництва сірчаної кислоти та в центрах розвиненої металургії.

Калійні добрива виробляють у місцях, де є калійні солі.

Сірчану кислоту виробляють у районах її споживання.

Содове виробництво розміщено в районах видобутку кухонної солі.

Коксохімія – це важлива ланка ланцюжка: вугілля – кокс – метал (для чорної металургії). Сировиною є коксівне вугілля.

Органічний синтез – це:

- виробництво полімерів, яке засноване на використанні продуктів нафтопереробної, газової та коксохімічної галузей;
- виробництво синтетичних смол і пластмас;
- виробництво синтетичних волокон і ниток;
- виробництво синтетичних клейових матеріалів;
- виробництво виробів лакофарбової промисловості.

Виробництво мийних засобів і хіміко-фармацевтика – це відносно нові галузі, які розташовані на всій території України.

Хімічний комплекс – це понад 250 підприємств, де працює близько 220 тис. кваліфікованих працівників (5,4 % від усіх, хто працює в Україні у промисловості). Обсяги виробництва – 7 % від усього обсягу промислового виробництва (70 % продукції йде на експорт: азотні калійні добрива, сірка, синтетичні барвники, кальцинована сода, бром, титанове білило тощо).

Сірчана кислота – це "хліб" хімічної промисловості, хімікат для виробництва мінеральних (фосфорних) добрив та інших кислот. Головним споживачем сірчаної кислоти є суперфосфатне виробництво. Сировиною для сірчаної кислоти є будь-які сірковмісні речовини (природна сірка, сірчаний колчедан, сірчані домішки, що містяться в газах) [97, 115].

Хімічна промисловість – це комплекс галузей виробництва, у яких застосовують, переважно, хімічні методи перероблення сировини та матеріалів (процеси: хімічні реакції зі зміною змісту енергії, хімічного складу та внутрішньої структури речовини) [28, 37, 115].

Основу створення хімічної промисловості становлять: закон збереження речовини та руху (Ломоносов М. В.); періодичний закон хімічних елементів (Менделєєв Д. І.); метод створення ароматичних амінів шляхом відновлення нітросполук (Зінін Н. М.); теорія хімічної будови (Бутлеров А. М.). Основний шлях збільшення продуктів харчування – це хімізація сільського господарства і тваринництва.

Сучасна біотехнологія містить: мікробіологічний синтез, генетичну та клітинну інженерію. Дозволяє створити із нехарчової сировини: моносахариди, етанол, фурфурол, гліцерин.

Генетична інженерія – це сукупність методів, що дозволяють штучно конструювати молекули спадкового матеріалу – дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК). Можливе створення штамів – продуцентів білків людини – інсуліну, інтерферону, гормону росту, а також виділення нових структур мікроорганізмів.

Однією із провідних тенденцій хімічної технології є створення виробництв нових видів хімічних продуктів і сировини: молекулярний водень, метанол, гідразин, аміак. Створення водневої технології дозволить розв'язати екологічні та сировинні проблеми. Перспективні процеси використання водню: синтез аміаку і метанолу, створення штучного рідкого авіаційного, автомобільного та ракетного палива. Досліджуються властивості високотемпературної плазми. Пропонують реалізацію плазмохімічних процесів: створення ацетилену і технічного водню із природного газу; створення ацетилену, етилену та водню із вуглеводнів нафти; синтез газу для створення вінілхлориду.

Використання іонізувальної здатності електромагнітного випромінювання та заряджених частинок дозволить здійснити радіаційно-хімічні процеси полімеризації (зшивання поліетилену, вулканізація каучуку).

Подальший розвиток хімічної промисловості пов'язано із необхідністю більш ретельного обліку екологічних чинників.

До основних напрямів прогресу в хімічній технології слід віднести:

- синтез нової продукції та розширення асортименту продукції, що випускають;
- укрупнення агрегатів, технологічних ліній, окремих видів обладнання й апаратури;
- розроблення та впровадження принципово нових технологічних процесів і вдосконалення наявних методів виробництва;

- упровадження АСУ технологічними процесами, виробництвами, підприємствами; створення нових ефективних каталізаторів.

Хімічна технологія – це наука щодо найбільш економічних і екологічно обґрунтованих методів хімічного перероблення сирих природних матеріалів на предмети споживання та засоби виробництва. Процеси хімічної технології містять хімічне перероблення сировини, засноване на складних за своєю природою хімічних і фізико-хімічних явищах.

Неорганічна хімічна технологія (технологія неорганічних речовин) містить перероблення мінеральної сировини (крім металевих руд), створення кислот, лугів, соди, силікатних матеріалів, мінеральних добрив, солей тощо.

Органічна хімічна технологія (технологія органічних речовин) включає перероблення нафти, вугілля, природного газу та інших горючих копалин, створення синтетичних полімерів, барвників, синтетичного каучуку, пластмаси, спирту, органічних кислот, лікарських засобів та інших речовин.

9.1.2. Виробництво неорганічних речовин

Виробництво неорганічних кислот, добрив і засобів захисту рослин

Виробництво сірчаної кислоти. За обсягами виробництва сірчана кислота посідає перше місце серед продукції хімічної промисловості [115]. Ця хімічна сполука, яка має формулу H_2SO_4, є безбарвною рідиною, кипить за температурою t = 304 °С, має властивості розчинювати сірчаний ангідрид $H_2SO_4 + SO_3$. Такий розчин називають олеумом.

Промисловість виробляє такі сорти сірчаної кислоти: баштову (75 % H_2SO_4), регенеровану (91 % H_2SO_4), технічну (92,5 % H_2SO_4), технічну покращену (92,5 – 94 % H_2SO_4), олеум (18,5 – 65 % SO_3).

У промисловості майже половину сірчаної кислоти використовують для виробництва добрив і кислот. Сірчана кислота потрібна для виробництва штучного волокна та пластмас, перероблення нафтопродуктів. У металургії − для створення лаків, красок, ліків, спиртів, отрутохімікатів, синтетичних мийних речовин. У текстильній промисловості − для обробки тканин перед нанесенням фарби, а також для виробництва крохмалю, патоки тощо. Концентровану сірчану кислоту й олеум використовують у виробництві вибухових речовин (нітрогліцерину, піроксилу, тротилу тощо), а також у виробництві концентрованої азотної кислоти.

Сірчану кислоту створюють нітрозним і контактним способами. Незалежно від способу виробництва, спочатку виробляють сірчаний ангідрид SO_3, який потім переробляють у сірчану кислоту.

Для створення сірчаного ангідриду найчастіше використовують сірчаний колчедан, а також елементарну сірку, сірководень.

Колчедан має від 38 до 47 % сірки, його заздалегідь обробляють, із метою відокремлення кольорових металів від сполук сірки. До складу сірчаного колчедану входить пірит FeS_2 (53,5 % сірки і 46,5 % заліза), а також до 50 елементів (Au, Ag, Se, As, Cu, Ni, Pb, Zn тощо). Для виділення сірчаного колчедану руду тонко роздрібнюють і розподіляють флотацією на концентрати сульфідів кольорових металів і відходи, які називають флотаційними хвостами або флотаційним колчеданом. Для підвищення сірки у хвостах їх повторно обробляють флотацією і створюють концентрат із 48 – 50 % сірки.

Випалювання сірчаного колчедану здійснюють: у печах для випалювання в "киплячому" (завислому) шарі, механічних печах, печах для випалювання пиловидного колчедану в завислому "киплячому стані". Процес випалювання відбувається за температурою 500 – 1000 °С.

Піч − це вертикальна циліндрична футерована камера, у нижній частині є решітки, куди весь час подають через завантажувальний пристрій колчедан (рис. 9.2).

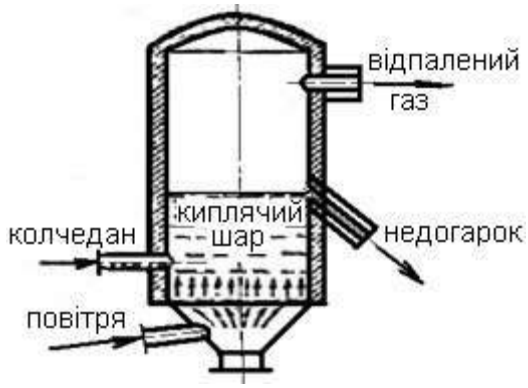


Рисунок 9.2 – Схема печі для відпалювання колчедану в "киплячому шарі"

Знизу під решітку подають повітря із такою швидкістю, щоб утримати частинки колчедану в "киплячому" стані. Висота "киплячого шару" може бути від решітки до отвору, через який забирають недогарки колчедану.

Чим більше "киплячий шар", тим повніше вигорає сірка із колчедану. Із верхньої частини печі відходить газ, у якому 12 – 15 % SO_2 і до 300 г/м^3 пилу.

У циклонах та електрофільтрах газ очищають від пилу і посилають на перероблення.

Контактний спосіб створення сірчаної кислоти засновано на окисненні SO_2 киснем повітря в SO_3 за умови обов'язкового контакту SO_2 та O_2 на поверхні твердого каталізатора.

Процес виробництва сірчаної кислоти (рис. 9.3) складається із чотирьох стадій: створення SO_2, його очищення, контактне окиснення SO_2 до SO_3, абсорбція SO_3 та вироблення кислоти.

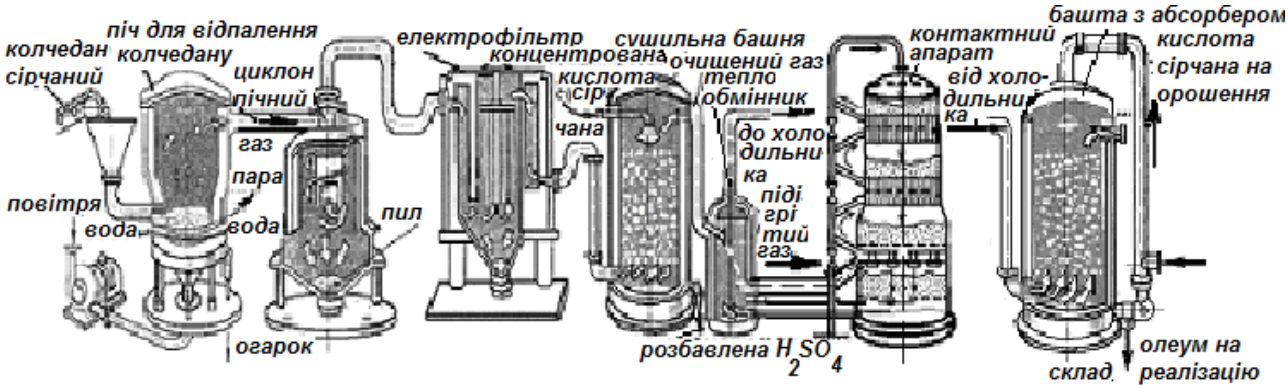


Рисунок 9.3 – Схема виробництва сірчаної кислоти контактним способом

У колчедановій печі пірит FeS_2 реагує з киснем ($4FeS_2 + 11O_2 = 4Fe_2O_3 + 8SO_2$), після чого газ очищають за допомогою циклону й електрофільтру. Далі газ надходить у сушильну башту та теплообмінник. Сушіння виконують шляхом зрошення газу концентрованою сірчаною кислотою. Суху суміш газу вентилятором через теплообмінник спрямовують у контактний апарат, у якому розміщено каталізатори. Окиснення SO_2 киснем за наявності каталізатора називають *контактуванням*. Процес відбувається за температури 450 °С. Повноту перетворення SO_2 на SO_3 оцінюють відношенням кількості окисненого SO_2 до того, який потрапив у контактний апарат, і визначають ступінь контактування, який дорівнює 97 – 98 %. Каталізатори роблять із платини, оксидів ванадію, хрому, олова, заліза, міді, алюмінію. Найчастіше використовують каталізатори із ванадію – вони ефективніші й дешевші, ніж платинові.

Сірчаний ангідрид SO_3 надходить через теплообмінник і холодильник в абсорбер, де він розчиняється в сірчаній кислоті, яка рухається у протилежному напрямі. У процесі розчинення SO_3 в концентрованій кислоті створюють олеум, а у процесі розчинення в неконцентрованій кислоті – багатогідратні сірчані кислоти.

Сучасні контактні апарати виробляють до 150 кг кислоти за добу.

Нітрозний спосіб утворення сірчаної кислоти засновано на окисненні SO_2 азотом у водному середовищі. Окиснення відбувається в нітрозі, який становить розчин окислів азоту в сірчаній кислоті:

$$SO_2 + NO_2 = SO_3 + NO; \qquad SO_3 + H_2O = H_2SO_4.$$

Оксид азоту окиснюється киснем повітря до NO_2 і після розчину повертається для взаємодії з SO_2. Установка має п'ять башт діаметром 4 − 6 м і висотою 14 − 18 м, внутрішню насадку яких виконано із керамічних кілець. Кислота, отримана баштовим способом, має дуже багато пилу, домішок і низьку концентрацію, тому її використовують, головним чином, для створення добрив.

Виробництво аміаку. Аміак використовують для створення азотної кислоти, азотнокислих і амонійних солей, азотних добрив; його широко використовують у холодильній техніці, металургії для азотування сталей, медицині та побуті.

Аміак NH_3 − безбарвний газ, у 2 рази легший за повітря, має різкий запах, отруйний, добре розчиняється у воді. Важливим промисловим способом його створення є синтез аміаку із азоту та водню. Сировиною є атмосферне повітря та водень із води. Синтез аміаку можна виконувати в установках високого, середнього і низького тиску. Найбільш поширені установки високого тиску.

Процес виробництва синтетичного аміаку відбувається в контактному апараті (рис. 9.4) − колоні синтезу 4 під тиском 800 МПа за температури 500 °С. До контактного апарату азотно-воднева суміш подається компресором 1 для очищення в маслорозділювачі 2 і фільтрі 3. Утворення аміаку відбувається за такою реакцією: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$.

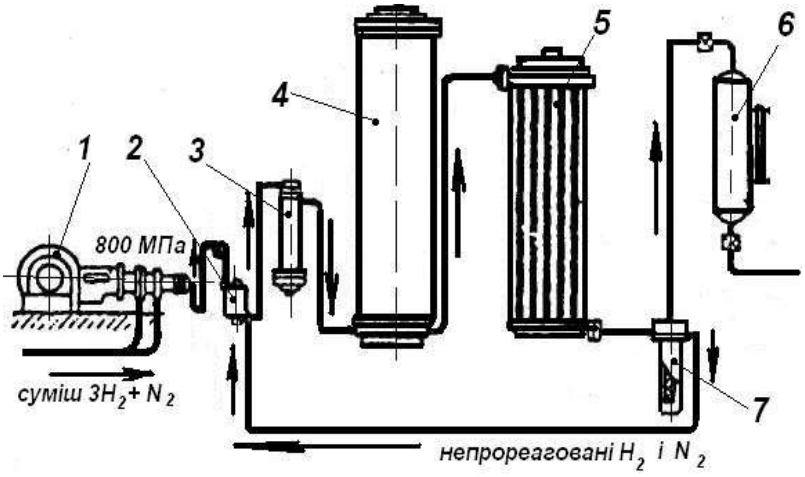


Рисунок 9.4 – Схема виробництва синтетичного аміаку

Реакція відбувається за наявності каталізатора, який складається із заліза з домішками алюмінію та калію. Реакція зворотна, тому газова суміш, яка виходить із контактного апарата, містить 20 – 30 % аміаку.

У холодильнику 5 аміак зріджується, звільняється від вільного азоту і водню і надходить у збірник 6, а потім у балони та споживачам. Непрореаговані гази − азот і водень − із резервуара 7 повертаються на перероблення. Для створення 1 т аміаку потрібно 3 000 м^3 азотно-водневої суміші, 90 м^3 води й 1 750 кВт/год електроенергії.

Виробництво азотної кислоти. Азотна кислота HNO_3 – це безбарвна рідина, що кипить за температури 86 °С, є сильним окиснювачем. Використовують її для виробництва добрив, органічних фарб, пластмас, штучного шовку, кіноплівки, вибухових речовин, палива для реактивних двигунів. За обсягом виробництва азотна кислота посідає друге місце після сірчаної кислоти. Процес створення HNO_3 виконують окисненням синтетичного аміаку (рис. 9.5).

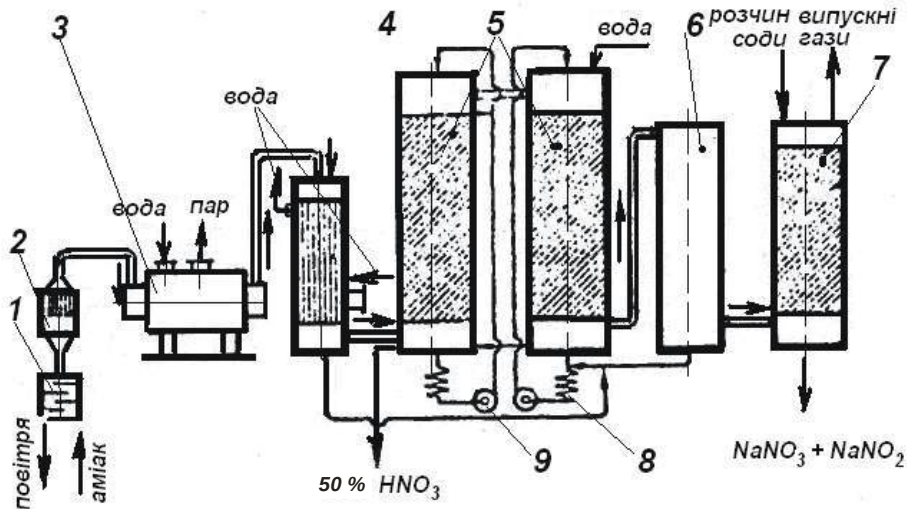


Рисунок 9.5 – Схема установки для створення азотної кислоти за атмосферного тиску

Повітря й аміак після очищення від домішок подають у змішувач, а потім у контактний апарат 2 для окиснення аміаку. Нітрозні гази за температури 800 °С виходять з апарата 1, минаючи котел-утилізатор 3, охолоджуються до 250 °С, потім потрапляють у холодильник 4, де охолоджуються до 30 °С. У холодильнику починається окиснення NO до NO_2 і конденсація парів води, а також часткове утворення HNO_3; із холодильника гази нітрози спрямовують в абсорбційні башти 5, де оксиди азоту поглинаються водою. У системі може бути 6 − 8 таких башт. Після цих башт гази надходять у башту 6, де залишився оксид NO, який окиснюється до NO_2 і потім потрапляє в башту 7 для лугової абсорбції. Для поглинання NO_2 остання башта 5 зрошується водою. Утворюється

слабка кислота, яка охолоджується в холодильнику 8 і за допомогою насоса 9 проходить послідовно назустріч газу всі поглинальні башти. Із першої по ходу башти кислоту із 50 % HNO_3 виводять. Ступінь перероблення оксидів азоту в азотну кислоту досягає 94 %. Для створення 1 т кислоти в установках звичайного тиску потрібно 300 кг аміаку, 100 $м^3$ води та 80 кВт/год електроенергії.

Для створення HNO_3 більш високої концентрації (до 96 – 98 %) її переганяють за наявності концентрованої сірчаної кислоти. Промисловість виробляє два сорти азотної кислоти: розбавлену із вмістом 50 – 60 % HNO_3 і концентровану із вмістом 96 – 98 % HNO_3. Розбавлену кислоту транспортують у резервуарах з нержавіючої сталі, а концентровану − в алюмінієвих.

Виробництво соляної кислоти. Хлористоводнева кислота HCl – це безбарвна рідина, що легко змішується з водою, її широко використовують для створення хлористих солей, синтетичного каучуку, клею, фарб, а також для витравлення металу в металургії. Є синтетичний і сульфатний способи виробництва соляної кислоти. Синтетичний спосіб складається із двох операцій (рис. 9.6): синтезу хлористого водню та поглинання його водою [115].

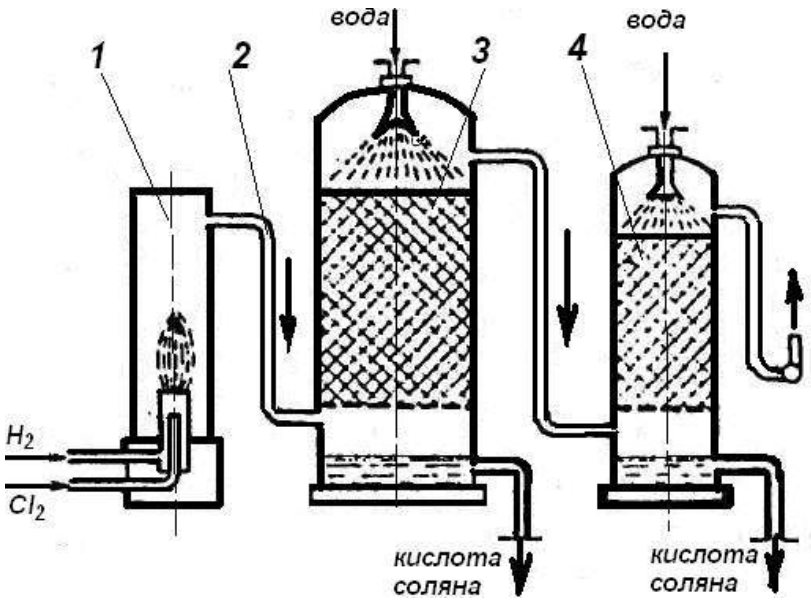


Рисунок 9.6 – Схема виробництва соляної кислоти синтетичним способом

Сировиною для синтезу є водень і хлор, які створюють електролізом кухонної солі. Синтез хлористого водню відбувається в контактній печі 1, де хлор і водень згорають та утворюють хлористий водень, який

по газопроводу 2 потрапляє до поглинальної башти 3, у якій за взаємодії з водою утворюється концентрована хлористоводнева кислота. Хлористий водень, який не прореагував із водою в башті 3, спрямовують у башту 4, де отримують менш концентровану соляну кислоту. Сульфатний спосіб передбачає створення хлористого водню у процесі нагрівання кухонної солі із сірчаною кислотою з наступним поглинанням його водою. Найбільш прогресивним є синтетичний спосіб, за яким створюють майже без домішок соляну кислоту.

Виробництво лугів. Луги − це гідрооксиди металу. Типовим лугом можна вважати їдкий натр або каустичну соду. Він є безбарвною прозорою кристалічною масою, яка роз'їдає під час контакту більшість матеріалів. Його широко використовують у нафтопереробній промисловості для очищення бензину, керосину, в миловарній, текстильній, гумовій промисловості, у процесі виробництва фенолу, шовку, органічних фарб.

Їдкий натр утворюють електролізом розчину кухонної солі (рис. 9.7). Електроліз виконують в електролітичних ваннах, які відрізняють за способом розподілення анодних і катодних продуктів на ванни із ртутним катодом і ванни з діафрагмою.

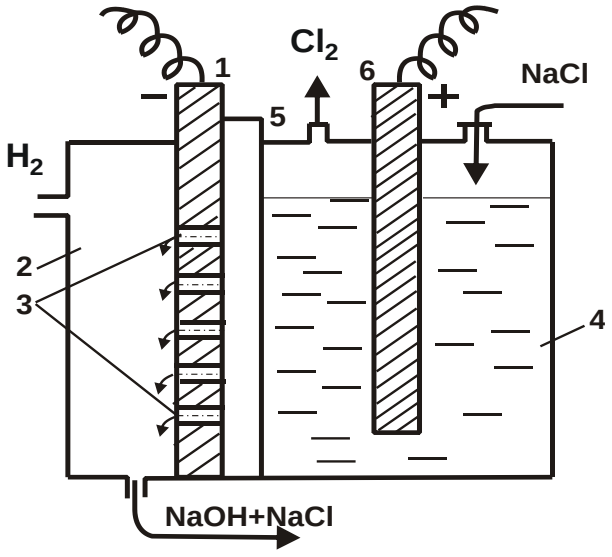


Рисунок 9.7 – Схема електролізу з вертикальною фільтраційною діафрагмою: 1− залізний катод; 2 − катодний простір; 3 − отвір у катоді; 4 − анодний простір; 5 − діафрагма; 6 − анод

Робота ванни із фільтраційною азбестовою діафрагмою (рис. 9.7) полягає в подаванні до анодного простору розчину хлористого натрію, який під гідростатичним тиском проходить через діафрагму до залізно-

го катодного простору. У процесі проходження електричного струму на аноді утворюється хлор, на катоді − водень і їдкий натр. У процесі електролізу повний розпад хлористого натрію не відбувається, тому із катодного простору ще виводять до 145 г/л NaOH, а також до 180 г/л NaCl для перероблення.

Схема ванни із ртутним катодом (рис. 9.8) складається із електролізера і розчинника, які з'єднуються. До електролізера подають розчин хлористого натрію та ртуть, розміщену на дні шаром 5 − 6 мм. Іони хлору розряджаються на аноді з утворенням хлору, який виводять із ванн. На катоді (ртуть) розряджається натрій, який утворює амальгаму натрію. Амальгама натрію перетікає в розчинник, де розчиняється водою. Водень і луги виводять з розчинника на наступне перероблення, а ртуть знову повертають до процесу. Так створюють їдкий натр високої концентрації та чистоти.

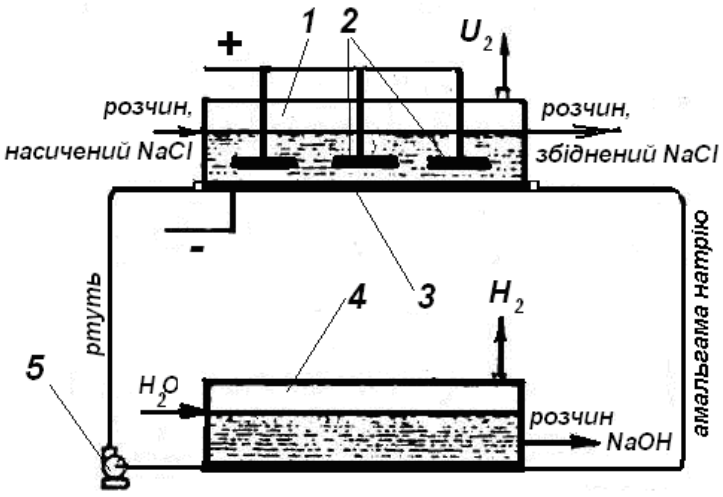


Рисунок 9.8 – Схема електролізу у ваннах із ртутним катодом*:*
1 − електролізер; 2 − аноди; 3 − катод (ртуть);
4 − розчинник; 5 − насос

Виробництво соди. Вуглекислу соду N_2CO_3 використовують у металургійному, нафтовому, миловарному, текстильному та інших виробництвах. За схемою (рис. 9.9) чистий розчин (305 − 315 г/л) NaCl із ємності 1 надходить в абсорбційну колону барботажного типу 2 (абсор-бери), де насичується NH_3 і частково CO_2, які виловлюють із газів, що виходять із карбонізаційних 3 і дистиляційних 6 колон і вакуум-фільтрів 5. Абсорбцію CO_2 і NH_3 виконують послідовно в декількох абсорбентах загальною висотою до 45 м.

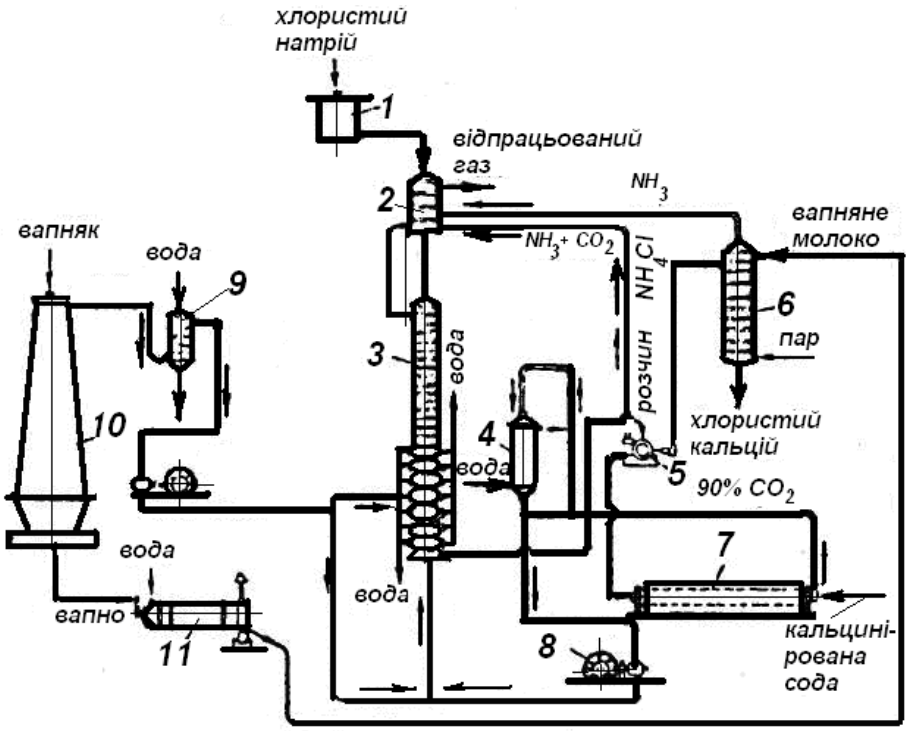


Рисунок 9.9 – Схема виробництва соди

Розчин, охолоджений і насичений NH_3 і частково CO_2, у якому є вуглецеві солі амонію $(NH_4)_2CO_2$ і NH_4OH, надходить у верхню частину карбонізаційної колони. У середню частину колони компресором 8 подається очищений у фільтрі 9 газ (до 40 % C_2O), який створюють у вуглецево-випалювальних печах 10, а в нижню частину колони, яка охолоджується водою, подають суміш газу з печей 10 і содових печей 7. Суміш охолоджується в холодильнику 4.

Гази із 4 – 7 % CO_2 і NH_3 із колони спрямовуються в абсорбер 2, а пульпа − на фільтрацію. Відокремлення бікарбонату натрію виконують у вакуум-фільтрі безперервної дії.

Із фільтру осад подають у содову піч 7 для кальцинації, гази − в абсорбер 2 для відокремлення NH_3 і CO_2, а фільтрат іде на дистиляцію в колону 6. У содовій печі 7 за температури 140 – 170 °С відбувається розклад бікарбонату з утворенням кальцинованої соди та її сушіння:

$$2\ NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Соду транспортерами подають на упакування; а гази, у яких до 85 – 95 % CO_2, – на карбонізацію. Для створення 1 т 95 % Na_2CO_3 необхідно використати: чистого розчину NaCl − 5,15 м^3, аміачної води (25 % NH_3) – 14 кг, вапна − (85 % CaO) − 710 кг, електроенергії – 102 кВт/год., пару − 1,32 мкал, води − 140 м^3, палива − 145 кг.

Виробництво добрив. Для підвищення врожаїв у сільському господарстві широко використовують мінеральні добрива. До складу рослин входить понад 60 елементів, головними із яких є: C, O_2, N_2, H_2, P, K, S, Ca, Mg, Fe, на інші припадає 1 – 2 % від маси рослин. Інтенсивне використання землі призводить до зниження, насамперед, таких елементів, як P, N_2, K, унаслідок чого зменшується врожайність і якість продуктів. У зв'язку із цим різні елементи вносять у землю із добривами.

За походженням добрива розподіляють на органічні та мінеральні.

Органічні добрива об'єднують добрива тваринного і рослинного походження (торф, гній).

До *мінеральних добрив* належать: азотні, фосфорні, калійні тощо. За кількістю корисних елементів добрива розподіляють на прості (із одним корисним елементом) і складні, у яких є декілька корисних елементів.

Азотні добрива розподіляють на: аміачну селітру (нітрат амонію), натрієву селітру (нітрат натрію), вуглецеву селітру (нітрат вуглецю), сульфат амонію та карбамід (сечовину). Найбільш корисними є аміачна селітра та карбамід. Аміачна селітра – це біла кришталева речовина, яка має велику гігроскопічність, може комкуватись і в разі детонації – вибухнути. Створюють її нейтралізацією азотної кислоти газоподібним аміаком: $HNO_3 + NH_3 = NH_4NO_3$.

Процес створення селітри полягає в такому (рис. 9.10): до внутрішнього циліндра 2 подають азотну кислоту й аміак в газовому стані, унаслідок чого утворюється розчин нітрату амонію, який переливається із внутрішнього циліндра в зовнішній (випарювальну частину апарата), де й випаровується вода з розчину. Пар виходить із нейтралізатора 1, і його використовують для нагрівання. Розчин 60 – 80 % NH_4NO_3, який містить до 2 г/л вільної HNO_3, донейтралізується аміаком у нейтралізаторі 3 і перекачується в постійно діючий апарат 4, де концентрація розчину підвищується до 99 % NH_4NO_3.

Із випарювальних апаратів розтоплена селітра надходить у грануляційну башту 5 (висота до 35 м), у верхній частині якої розміщено обертальну дірчасту лійку (обертальний горизонтальний диск). Проходячи через отвори лійки, розчин розбризкується, унаслідок чого утворюються краплі, які під дією холодного повітря перетворюються на гранули до 3 мм, потрапляють на транспортер 6, а потім на сушарку й упакування в паперові мішки. Сечовина (карбамід) утворюється, внаслідок взаємодії аміаку та вуглецевого газу: $2NH_3 + CO_2 = CO(NH_2)_2 + H_2O$.

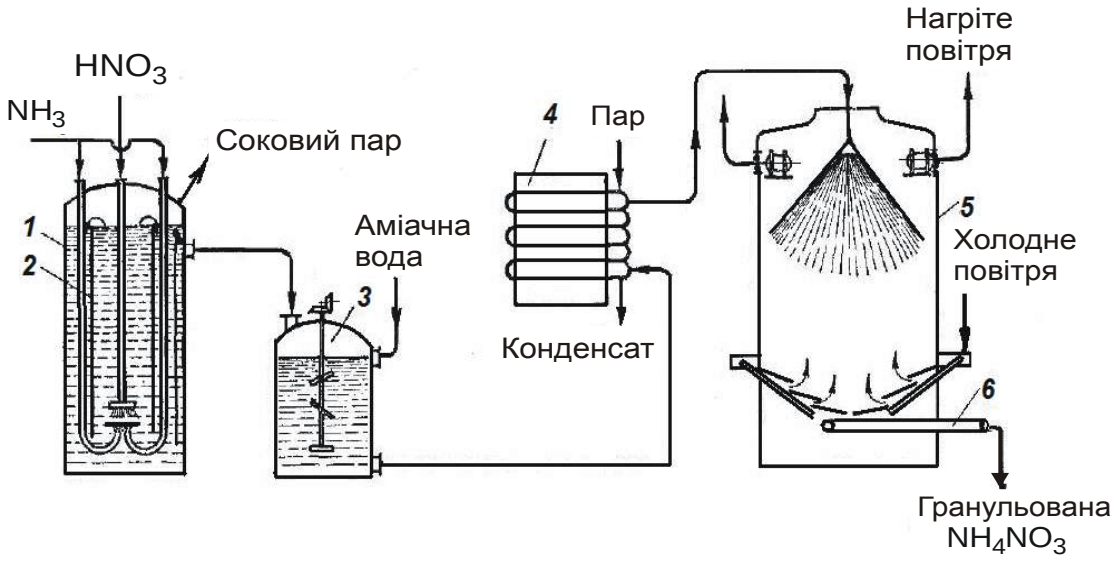


Рисунок 9.10 – Схема виробництва аміачної селітри

Сечовину створюють у колоні високого тиску. Синтез сечовини здійснюють за температури 180 – 200 °С під тиском 20 МПа з 100 % надлишком аміаку протягом однієї години. Вихід сечовини досягає 70 %. Сечовину використовують для підвищення врожайності всіх сільськогосподарських культур, особливо за кореневого й некореневого підгодування рослин, також у процесі виробництва синтетичних смол, тканин, клеїв, фармацевтичних препаратів.

Рідинні добрива – це аміак (до 82 % N), аміачна вода (до 20 % N) − також широко використовують у сільському господарстві.

До *фосфорних добрив* належать: суперфосфат, преципітат, фосфористе борошно. Сировиною для створення фосфорних добрив є природні фосфорити $Ca_3(PO_4)_2$ й апатити $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$.

Фосфористе борошно виробляють шляхом розмелювання природного фосфориту, його сушіння й розмелювання; суперфосфат − шляхом розкладу природного фосфориту сірчаною кислотою; преципітат − шляхом нейтралізації фосфорної кислоти вапняковим молоком.

Калійні добрива найчастіше подано хлористим калієм. Сировиною для його створення є сильвініт KCl + NaCl і карналіт $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$. Для утворення хлористого калію сильвініт розмелюють, розчиняють, розчин охолоджують, відокремлюють солі та висушують їх.

Отрутохімікати. Для боротьби із хворобами рослин, шкідниками, бур'янами в сільському господарстві використовують отрутохімікати, які розподіляють на інсектициди, фунгіциди та гербіциди. Інсектициди використовують для боротьби із комахами − це препарати, у яких

є миш'як, фтор, хлор, мідь, фосфор. Найбільш поширеним є миш'яковий препарат – це паризька зелень $3Cu(ASO_2)_2 \cdot Cu(CH_3 \cdot CaO)_2$, фтористий кремній, фтористий натрій, гексахлоран, тіофос. Сировиною для створення миш'якового препарату є триоксид миш'яку, який виробляють шляхом випалювання миш'якових руд. Триоксид миш'яку потім переробляють на солі. Фтористі препарати створюють із відходів виробництва суперфосфату. Гексахлоран $C_6H_6Cl_6$ створюють шляхом приєднання хлору до бензолу. Фунгіциди використовують для боротьби із грибковими хворобами рослин. Це препарати, у яких є мідь (бордоська рідина), сірка, формалін, протас, гранозан тощо. Бордоську рідину створюють змішуванням розчину мідного купоросу з вапняковим молоком. Сірку створюють у процесі очищення коксового й генераторного газів від сірководню та іншими способами.

Гербіциди – хімічні препарати, які знищують бур'яни. Найчастіше використовують хлор, нітрати фенолу, хлорати натрію і кальцію, також 10 % розчин H_2O_4, 5 % розчин $CuSO_4$ тощо. Отрутохімікати бувають в порошках, рідинах, аерозолях.

9.1.3. Виробництво органічних речовин

Хімічне перероблення палива. До фізичних методів перероблення нафти зараховують перегонку, яка є процесом термічного розпаду нафти на її складові частини та фракції [37, 115].

Для розподілу нафти на фракції її нагрівають у трубчастій печі (рис. 9.11). Спочатку нафта проходить по трубах так званої конвенційної секції 3, де вона підігрівається поточними газами, що виходять із печі, потім − по трубах скляного екрана 2 і фронтального екрана 1 виходить із печі. Підігрівання нафти у трубах екранів 1 і 2 виконують завдяки горінню палива, яке подають форсункою 4. Нагріта нафта потім іде на перегонку. Розподіл нафти на фракції засновано на різній температурі кипіння її з'єднань.

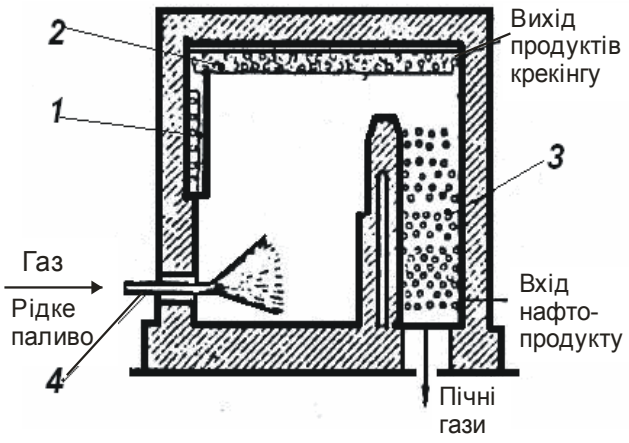


Рисунок 9.11 – Трубчаста піч

Перегонку нафти виконують в одноступеневих і двоступеневих трубчастих установках (рис. 9.12). Спочатку перегонку ведуть за атмосферного тиску із виділенням бензинової та інших висококиплячих фракцій, а залишок − мазут − потім переганяють під вакуумом. Заздалегідь нагріта до 170 – 175 °С в теплообмінниках 3, 8, 11 нафта надходить у трубчасту піч 16, де нагрівається до 350 °С димовими газами та подається в ректифікаційну колону 2 першого ступеня. Пари нагрітої нафти підіймаються угору колони та розподіляються (ректифікуються) за температурами конденсації.

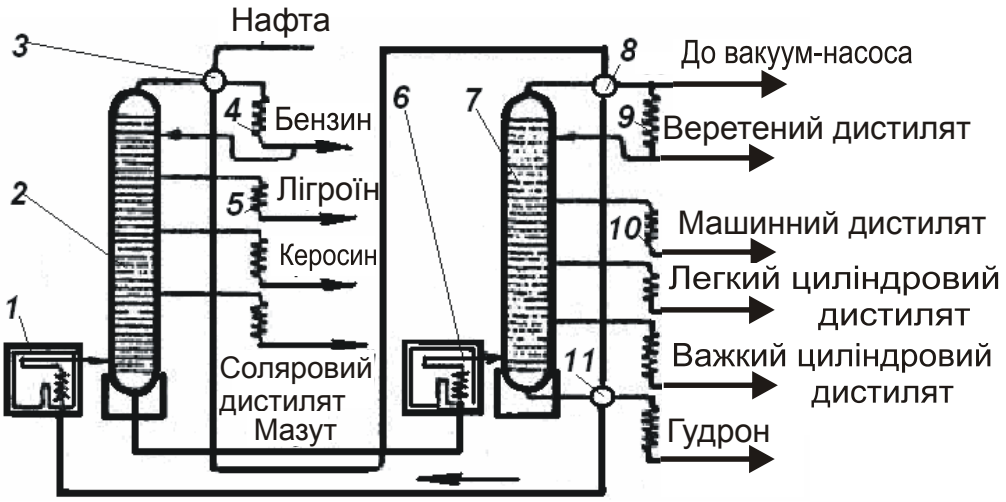


Рисунок 9.12 – Принципова схема двоступеневої установки для перероблення нафти

Принцип роботи колон такий. Нагріту нафту подають у нижню частину колони, і складові частини нафти з найнижчою температурою кипіння випаровуються. Пари підіймаються вгору колони, поступово охолоджуються рідиною, яка стікає вниз. У разі контакту пари із рідиною (флегмою) на полицях колони відбувається розподіл суміші на фракції за температури кипіння, унаслідок багаторазового повторювання випаровування рідини й конденсації її парів. Таким чином, за висотою колони можна відбирати фракції за температурами конденсації, причому чим вище місце відбору фракції за висотою колони, тим нижча температура кипіння фракції. Найбільш низькокиплячою фракцією є бензин.

Пари бензину виводять зверху колони 2, охолоджують у теплообміннику 3 і конденсують у конденсаторі 4. Частково рідкий бензин виводять як готовий продукт, а частково − подають на зрошування в колону (як флегму). За висотою відбирають інші фракції (лігроїн, керосин,

соляровий дистилят), які після охолодження в холодильниках 5 становлять готову продукцію. Залишок від перегонки нафти – мазут – виводиться із колони 2 внизу і потрапляє у трубчасту піч 6 другої сходинки, яка працює під вакуумом, де мазут нагрівається до 400 – 420 °С. Утворюється пара, яка надходить у ректифікаційну колону 7, де за висотою колони відбирають дистиляти − важкий циліндровий, легкий циліндровий і машинний, які охолоджують у холодильниках 10. Із верхньої частини колони виводять пари веретенного дистиляту, які охолоджують у теплообміннику 8 і конденсують у конденсаторі 9. Частина веретенного дистиляту повертається для зрошування колони, а частина йде на використання як готовий продукт. Знизу колони 7 через теплообмінник 11 і холодильник 10 виводиться залишок перегонки мазуту – гудрон. Вихід дистилятів: бензиновий − 14,5 %, лігроїновий − 7,5 %, керосиновий − 18,5 %, солярове масло – 5 %, залишок − мазут – 55 % (перша сходинка); під час перегонки мазуту: веретенний − 10 – 12 %, машинний – 5 %, легкий циліндровий – 7 %, важкий циліндровий – 7 % і гудрон − до 30 %.

Крекінг нафтопродуктів. Незначний вихід бензину під час прямої перегонки нафти привів до розроблення крекінг-процесу, заснованого на розподілі молекул важких вуглеводів, які входять до складу висококиплячих фракцій, на більш короткі молекули легких низькокиплячих продуктів. Наприклад, під час розщеплення молекули цетану $C_{16}H_{34}$, який після перегонки нафти входить до складу газойля чи мазуту, утворюється молекула октану C_8H_{18}, яка входить до бензинової фракції. Процес крекінгу відбувається за високого нагрівання, унаслідок чого його називають термічним. Чим вище температура і більше витримка, тим повніше здійснюється процес і більше вихід продуктів крекінгу.

Термічний крекінг здійснюють за температури 450 – 500 °С із тиском 2 − 7 МПа в рідкій фазі. Основною метою водночас є утворення світлих топлив із мазуту або нафтових залишків – гудрону або напівгудрону. За термічного крекінгу 75 % сировини підлягає переробленню. Суміш продуктів крекінгу та непрореагованої сировини проходить через випарювач, у якому відокремлюється крекінг – це залишок речовини, яка не підлягає крекінгу. Легкі продукти ідуть у ректифікаційну колону на розподіл. Після крекінгу вихід крекінг-бензину − 30 – 35 %, крекінг-газів − 10 – 15 % і крекінгу-залишку − 50 – 55 %.

Крекінг-бензин використовують як компонент автомобільного бензину. Крекінг-гази використовують як паливо або як сировину для синтезу органічних речовин. Крекінг-залишок становить суміш смоли й асфальтових речовин, які використовують як паливо для котлів або як сировину для виробництва бітумів.

Піроліз – це високотемпературний парофазний термічний крекінг, який здійснюють за температури 670 − 1 200 °С та атмосферному тиску. Мета − створення, головним чином, етилену та водночас пропілену, бензолу, толуолу, нафталіну. Піролізу піддають вуглеводи попутних нафтових газів і газів крекінгу (етану, пропану, бутану), низькоякісні паливні фракції − бензини прямої перегонки та бензини, сконденсовані від попутних газів.

Каталітичний крекінг − це крекінг із використанням каталізаторів, що сприяє зниженню температури крекінгу, виходу і збільшенню якості бензину. Каталізатором є, головним чином, синтетичні алюмосилікати, у яких 10 – 25 % оксидів алюмінію, а також деякі види глин і бокситів. Принципову схему установки крекінгу в "киплячому шарі" пиловидного каталізатора показано на рис. 9.13. Сировина після попереднього нагрівання в теплообмінній установці 8 надходить у трубчасту піч 1, де нагрівається до температури 400 °С.

Потім вона змішується зі ще більш гарячим порошком-каталізатором, випаровується і потрапляє в робочу зону реактора 3. Там у "киплячому шарі" каталізатора відбувається крекінг сировини із виникненням продуктів крекінгу. Процес йде за температури 450 – 500 °С під тиском 60 − 180 МПа.

Продукти крекінгу із реактора потрапляють у ректифікаційну колону 4, де розподіляються. Гази й бензин проходять через конденсатор 5 і газосепаратор 6. Бензин відокремлюють від води у відстійнику 7. Легкий і важкий каталітичний газойль відбирають як проміжні фракції. Знизу колони йде в реактор сировина, яка не прореагувала. Відпрацьований каталізатор осідає внизу реактора, де він відокремлюється від сировини та продуктів крекінгу і спрямовується у регенератор 2. У регенераторі за допомогою повітря кокс і смолу відокремлюють із поверхні каталізатора, відновлюють його, охолоджують до температури 500 – 550 °С і повертають у реактор. Вихід продуктів такий: 35 – 40 % крекінг-бензину, 15 – 20 % крекінг-газу, 35 – 40 % легкого та 5 – 8 % важкого крекінг-газойлю.

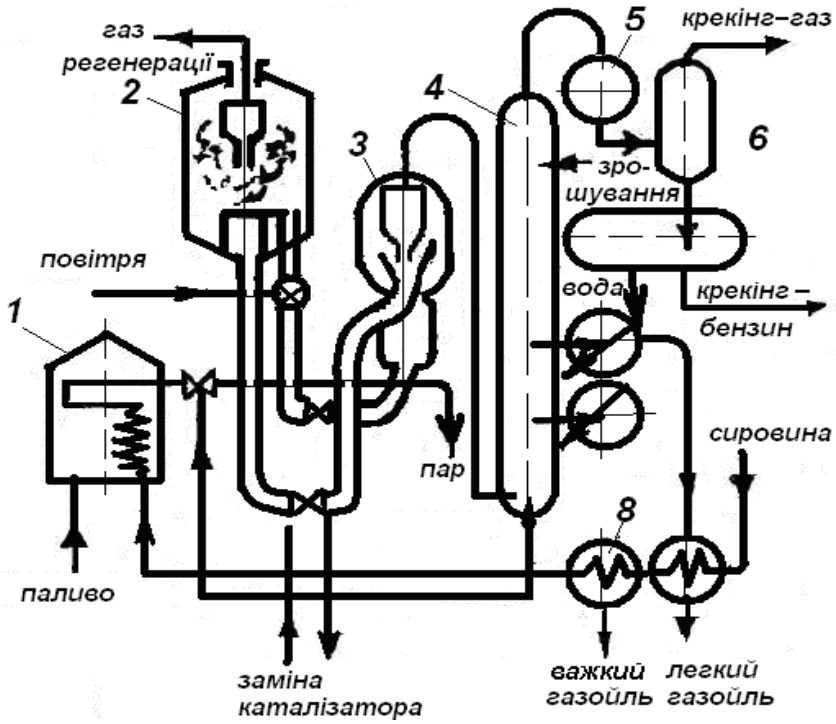


Рисунок 9.13 – Каталітичний крекінг з пиловидним каталізатором

Риформінг – це різновид каталітичного крекінг-газу, хід реакцій у якому спрямовано на утворення ароматичних вуглеводів та ізомерів.

Сировиною є бензин різного походження: прямої перегонки, термічного крекінгу тощо. Каталізатором є порошок платини до 1,0 %, який наносять на поверхню оксиду алюмінію; він добре працює й дуже реагує на сірку, яка його швидко руйнує.

Процес риформінгу здійснюють за температури 480 – 520 °С і тиску 2 – 4 МПа. Технологічна схема риформінгу аналогічна до схеми каталітичного крекінгу. У бензині після риформінгу містяться до 58 % ароматичних вуглеводів, інші алкани та нафтени, головним чином, ізомерної будови. Експлуатаційні характеристики цього бензину значно вищі, ніж після каталітичного крекінгу. Риформінг використовують більше для створення бензолу, толуолу тощо, які застосовують для виробництва каучуку, пластмас, синтетичних тканин, фарб, отрутохімікатів, мийних речовин.

Кислотне і лугове очищення. Сірчана кислота розчиняє смолисті, азотні речовини, нафтенові кислоти, феноли, а нафтенові й парафінові вуглеводи з нею не реагують. Використовуючи властивість різної питомої ваги шляхом відстоювання, відокремлюють розчинені в кислоті та лугах домішки нафтопродуктів. Роблять це після ректифікації продуктів.

Адсорбційне очищення здійснюють шляхом пропускання продукту через сорбенти − вибілювальні глини. Витрата глин − до 300 кг на 1 т продукту її нафтопереробки. Найчастіше використовують після кислотно-лугового очищення.

Селективне очищення засновано на властивостях одного компонента розчинятися в розчині, а іншого − ні, що сприяє відокремленню зайвих речовин із високоякісних мастил.

Гідроочищення із використанням каталізатора в хімічному очищенні. Головна мета − виділити сірчані сполуки й ненасичені вуглеводи. Процес полягає в обробленні очищеного продукту воднем за температури 250 – 430 °С і тиску 5 − 7 МПа. У реакторах використовують алюмо-кобальт-молібденові каталізатори. Унаслідок такої обробки, сірчані сполуки розчиняються та у вигляді сірководню виходять із газами, а ненасичені вуглеводи насичуються та перетворюються на насичені. Гідроочищення використовують для обробки палива та мастил.

Класифікація та властивості товарних нафтопродуктів. Товарні нафтопродукти розподіляють на палива, масла та інші продукти.

Палива розподіляють на зріджені та стиснені паливні гази; паливо для карбюраторних двигунів (бензин, керосин); для двигунів дизелів (дизельне), для реактивних двигунів (реактивне); для котельних установок (котельне).

Масла об'єднують: моторні (автотракторні, авіаційні, дизельні), індустріальні мастильні, трансмастильні, мастильні для роботи за підвищених температур (турбінні, компресорні, для парових машин), консистентні мастила, масла спеціальні (для приладів, швацьких машин, трансформаторні, конденсаторні тощо). Інші продукти можна розподілити на розчинні, освітлювальні, гас, парафін, церезин, вазелін, бітуми нафтові, пек, просочувальні матеріали, електродний кокс і сажі, спеціальні продукти (піно-утворювальні, скріплювальні в ливарному виробництві тощо).

Особлива група – це низькомолекулярні насичені вуглеводи (метан, етан, пропан, бутан), низькомолекулярні олефіни (етилен, пропілен, бутилен тощо), ароматичні вуглеводи (бензол, толуол, ксилоли, нафталін тощо), сірчані й кисневі сполуки.

Октанове число оцінюють шляхом порівняння зразка палива та стандартної суміші з ізооктана і Н-гектана. Октанове число гектану, який дуже легко детонує, прийнято за 0, а ізооктану, який має високі

антидетонаційні властивості − за 100. Відсоткову кількість ізооктану в суміші, яка детонує за тих самих умов тиску в циліндрі двигуна, що й дослідне паливо, називають *октановим числом*. Воно залежить від хімічного складу палива. Найбільш високе октанове число мають ароматичні та ізопарафінові вуглеводи (90 і більше), дуже низьке − парафінові вуглеводи.

Цетанове число – це здатність дизельного палива до самоспалахування в разі подавання в камеру палива, де є стиснене повітря. Його знаходять шляхом порівняння із самоспалахуванням суміші еталонних речовин: цетану, який має малий період затримки (час між початком вприскування і займанням палива), і метилнафталіну із великим періодом затримки. Найбільше цетанове число мають парафінові вуглеводи звичайного ряду (до 70 − 80) і найменше − ароматичні вуглеводи. Для швидкорухомих дизелів важливе значення має випарювання палива, у зв'язку із чим обов'язково визначають межі в'язкості, температури спалаху, зольність тощо.

До всіх палив обов'язкові вимоги до найменшої кількості сірки, кислот, золи, води. Для котельного палива обов'язкові вимоги до теплотворної здатності та в'язкості, від чого залежить ефективність розпилювання палива у форсунці. Головні властивості мастил полягають у підтриманні на поверхнях тертя деталей маслянистої плівки, яка тим більше, чим вище в'язкість. Мастило повинно бути стійким до окиснення, високих температур, антикорозійним, не давати стійких емульсій із водою тощо. Для підвищення якості до мастил уводять різні присадки.

Фотохімічні, радіаційно-хімічні та плазмохімічні процеси

Фотохімічні процеси. Механізм фотохімічних процесів ґрунтується на активації молекул реагенту під час поглинання світла. Водночас змінюється електронна структура молекули, тобто електрони зовнішніх оболонок атомів збуджуються, а молекула стає здатною до хімічних перетворень. Фотохімічні процеси розподіляють на прямі й сенсибілізовані. У прямій реакції випромінювання поглинається одним або декількома речовинами, які приймають участь у реакції. У сенсибілізованій реакції випромінювання поглинає певна речовина, збуджує реакцію, а сама не приймає участі в реакції.

У кожній фото-хімічній реакції мають місце три стадії: поглинання світла й перехід молекули до електронно збудженого стану; первинні фотохімічні процеси з участю збуджених молекул та утворенням пер-

винних фото-хімічних продуктів; вторинні реакції речовин, які утворилися в первинному процесі.

Продуктами першої стадії фотохімічного процесу можуть бути короткоіснуючі ізомери, які мають підвищену електронну енергію, атоми та радикали. Часто вони мають випарені електрони та легко приймають участь у вторинних реакціях. Передавання збудження від однієї молекули до іншої називають *сенсибілізацією*, а речовину, яка поглинає промінь і стає переносником енергії, – *фотосенсибілізатором*.

Залежно від ролі й характеру впливу променів, фотохімічні процеси умовно можна розподілити на три групи.

До першої групи належать реакції, які самовільно можуть відбуватися після поглинання реагентами променевого імпульсу. Для таких процесів промінь виконує роль збуджувача й ініціатора. Сюди належать: хлорування та бромування вуглеводів, синтез різних полімерів (полімеризацію стиролу та створення полістиролу), синтез хлористого водню. За звичайних умов ці реакції відбуваються дуже повільно, а під дією сонячного світла або підігрівання вони супроводжуються навіть вибухом.

До другої групи фотохімічних процесів належать такі процеси, для яких необхідно весь час підводити променеву енергію до реагентів. Достатньо перервати подавання світової енергії − процеси зупиняються. До таких процесів належать процеси, які мають місце в живій клітині; процеси природного фотосинтезу, пов'язані із поглинанням світла пігментом рослин хлорофілом; процеси пов'язані із утворенням електричного струму в сонячних батареях − це один із напрямів використання сонячної енергії.

Найбільш поширено в космічній техніці кремнієві фотоперетворювачі, перетворювачі сонячної променевої енергії на теплову для опалення приміщень за допомогою конвекції повітря тощо. Значно поширено процес розчинення галоїдних сполук срібла, на світлочутливості яких ґрунтується процес відображення у фотографії.

До третьої групи належать процеси, які відбуваються під дією променю, – це *фотокаталітичні реакції*. Промінь у цих процесах поглинається не реагентами, а каталізатором, який прискорює процес. Під дією променю відбувається збудження електронів атомів, розташованих на поверхні каталізатора та зниження енергії активації реакції. Фотокаталізаторами можуть бути деякі напівпровідникові матеріали (оксиди цинку, міді, кадмію, олова), які й наносять на основу.

До фотокаталітичних процесів належать: синтез органічних речовин (наприклад, утворення карбонових кислот шляхом реакцій окиснення), реакція розкладу пероксиду водню (як каталізатор використовують сполуки металів міді, заліза, марганцю, які нанесено на основу).

Доцільність і поширення використання фотохімічних процесів полягає в їх перевазі над термохімічними: можливість точного регулювання ступеня збудження молекул, висока селективність реакції, можливість активізувати тільки певну групу або зв'язки в молекулі шляхом зміни ступеня випромінювання, можливість синтезу термодинамічних нестійких сполук; процеси мало залежать від температури; швидкість реакції легко регулюють, висока ступінь чистоти продукції.

Радіаційно-хімічні процеси. Метою радіаційно-хімічних процесів є вибір найбільш економічного шляху для створення продукту із заздалегідь спрямованими властивостями за допомогою використання збуджених атомів, іонів, молекул, радикалів. Енергія іонізувального випромінювання в сотні тисяч разів перевищує енергію хімічних зв'язків. Для іонізації використовують потоки заряджених частинок великої енергії (прискорені електрони) − α-, β-частинки, нейтрони, уламки ядр і високочастотні електромагнітні коливання (рентгенівське і γ-випромінювання).

Механізм радіаційно-хімічних процесів складається із трьох стадій. На першій стадії (фізичній) енергія первинного випромінювання перерозподіляється між удруге зарядженими частинками. Ці частинки під час взаємодії з електронами атомів приводять до збудження й іонізації нових молекул речовин. На другій стадії (фізико-хімічній) хімічно активно заряджені іони й незаряджені уламки ядр реагують між собою та з іншими молекулами з більшою швидкістю. У результаті вторинних реакцій виникають нові активні частинки (вільні радикали, іони). На третій стадії (хімічній) відбуваються реакції, які приводять до виникнення молекул нової речовини (радіаційно-хімічний синтез).

У промисловості умовно виділяють такі напрями використання радіаційно-хімічних процесів.

Радіаційна полімеризація відбувається за низької температури під впливом β-частинок і α-випромінювання в газовій, рідкій і твердій фазах. Створюють дуже чисті полімерні матеріали, які використовують у радіоелектроніці й медицині. Із успіхом використовують радіаційну полімеризацію етилену, тріоксану, акриламіду, а також процеси співполі-

меризації етилену з вінілхлоридом, тетрафторетиленом тощо. Процес полімеризації мономерів у гетерогенних системах є основою для отримання деревополімерних матеріалів, які використовують для виготовлення термостійких моделей, будівельних деталей і виливків у машинобудуванні.

Радіаційне зшивання полімерів приводить до модифікації структури і властивостей полімерів. Найбільш вивчено цей процес для поліетилену і полімерів вінілового ряду, а також радіаційна вулканізація каучуку. Перспективи має спосіб радіаційної модифікації натуральних і синтетичних волокон, прищеплювання полімерів на тканини, що дає можливість створювати водо- і масловідштовхувальні матеріали, вогнетривкі, променевостійкі, біостійкі та тканини, що не зминаються.

Радіаційно-хімічний синтез об'єднує окиснення, хлорування, сульфохлорування органічних сполук тощо. Радіаційне окиснення використовують для синтезу тетрахлоретилену і хлорангідриду трихлороцтової кислоти, для синтезу запашних речовин, реакцій заміщення та приєднання тощо.

Найбільше практичне значення мають процеси радіаційного сульфохлорування і сульфоокиснення парафінових вуглеводів. Продукти сульфохлорування використовують для створення мийних і поверхнево-активних речовин. Використовують процес радіаційного синтезу органохлорсиланів − мономерів, які є сировиною для отримання кремній-органічних полімерів. Розроблено спосіб утворення тетрахлораканів із етилену і чотирихлористого вуглецю, який є основою для синтезу промислових олій та отрутохімікатів.

Радіаційна модифікація неорганічних речовин характерна для оксидів металів з особливими діелектричними властивостями та напівпровідників. Під впливом опромінювання каталітична активність підвищується та зменшується отруйна дія отрути. Наприклад, активність оксидів нікелю, заліза, цинку підвищується в разі опромінювання на декілька порядків. Деякі сегнетоелектрики (титанат барію) і напівпровідники селену під їхньою дією покращують свої експлуатаційні властивості.

Радіаційне очищення стічних вод, твердих відходів і газів. Під час опромінювання природна вода дезінфікується і в ній відокремлюються гази. В основу радіаційного очищення стічних вод, у складі яких є різноманітні домішки (фенол, поверхнево-активні речовини, фарби тощо), покладено радіоліз води й радіаційна полімеризація за-

здалегідь упроваджених мономерів. У процесі радіаційного очищення твердих відходів і шламів створюють речовини, які використовують як добрива або домішки до корму тварин.

Очищення газів під дією рентгенівського опромінювання діоксид сірки окиснюється киснем повітря в сірчанокислих розчинах за наявності каталізатора. Водночас діоксид сірки й оксиди азоту переходять у сірчану та азотну кислоти, які разом із твердими частинками осідають на електростатичному фільтрі.

Останнім часом опромінювання використовують у медичній практиці для діагностики й лікування. Відпрацьовують комплексні установки, які одночасно виробляють енергію та продукцію. На ядерному обладнанні виготовляють плівки, напівпроникні мембрани, які використовують для розподілу гомогенних систем.

Головним недоліком радіаційно-хімічних процесів є особливі правила безпеки під час виконання процесів та обов'язкове захоронення радіоактивних уламків стронцію, цезію тощо. Почали переводити залишки радіоактивних речовин у тверді тіла, такі як скло й базальт, що спрощує захоронення їх.

Плазмохімічні процеси. У результаті високого нагрівання речовини частина молекул переходить у збуджений стан, друга – розкладається на складові частини (атоми, а також уламки молекул, вільні радикали, іони та різноманітні частинки, зокрема й електрони). Таку газоподібну суміш називають *плазмою*, у якій найчастіше понад 1 % молекул перебувають в іонізованому стані [29]. Якщо кількість позитивно й негативно заряджених частинок приблизно однакова, то плазма квазінейтральна. Вона яскраво світиться, електропровідна й активно взаємодіє з магнітними полями.

Відрізняють високотемпературні та низькотемпературні плазми.

Низькотемпературна плазма має місце під час електричних розрядів у газах і низького тиску. Її використовують у газових променевих трубках.

Гаряча плазма − це Сонце, зірки, епіцентри вибуху атомних і водневих бомб. Гаряча плазма характеризується температурами від декількох до сотень мільйонів градусів. На дослідних установках плазма утримується магнітним полем та існує соту частку секунди. У процесі перебігу керованих термоядерних реакцій виникає високотемпературна плазма.

Низькотемпературна плазма у природі – це шарова блискавка, а штучна, яка виникає у високочастотних і понадвисокочастотних розрядах і в електричних дугах, має температуру близько 10^4 К.

Обладнання для створення плазми складається із плазмотрона, реактора загартованого пристрою. У плазмотроні з допомогою електричних розрядів виникає висока температура, яка іонізує потік аргону, гелію, азоту або якогось іншого газу, перетворюючи його на плазму. Потім вона потрапляє в реактор, де під дією високої температури у плазмі в тисячні частки секунди відбуваються хімічні реакції. Фіксування проміжних або основних продуктів досягають у гартованому пристрої із такою швидкістю, щоб вони не встигали розчинитися.

За фазовим станом плазмохімічні процеси розподіляють на гомогенні й гетерогенні, а за температурами − на нерівно- та квазірівноважні.

Нерівноважні плазмохімічні процеси здійснюють під дією лазерного опромінювання, а також в жевріючих та імпульсних розрядах, у високочастотних жевріючих розрядах. Швидкість цих процесів не залежить від температури та характеру розподілу різних частинок за енергіями. Наприклад, у жевріючому розряді, де є легкі часточки (електрони) і важкі частки (збуджені, іонізовані, нейтральні), головну активізаційну дію виконують високоенергетичні електрони. Це виявляють у тому, що в катодній зоні жевріючого розряду може бути створено оксид азоту із термодинамічною відповідністю температурі 3 000 К, тоді як температура газу в розрядній системі не перевищує 350 К. У понадвисокочастотному розряді можна синтезувати незвичайні сполуки, а в жевріючому розряді − створювати озон і навіть модифікувати поверхню полімерів, змінюючи їхні фізико-хімічні властивості.

Перевага нерівноважних плазмохімічних процесів полягає в тому, що унаслідок низької температури важких частиночок, гартування здебільшого не потрібне, що спрощує технологію та витрати на швидкісне охолодження продукції. Недолік полягає в непередбачуваності явищ нерівноважних процесів.

Квазірівноважні плазмохімічні процеси здійснюють, головним чином, в електродугових плазмотронах. Швидкість цих процесів залежить від температури, у зв'язку з тим, що в системі відсутні будь-які зміни в рівноважному розподілі частинок між енергіями.

До *гомогенних плазмохімічних процесів* належать: окиснення азоту та хлористого водню, створення ацетилену, синтез диціану та

гідразину. Найбільш поширено виробництво ацетилену із природного газу. Під час плазмового перероблення газоподібних вуглеводів уже за температури 1 800 К метан майже повністю перетворюється на ацетилен. Собівартість вироблення ацетилену плазмохімічним способом майже на 35 % нижча, від традиційних.

Гетерогенні плазмохімічні процеси об'єднують процеси відновлення складних сполук оксидних руд, створення багатокомпонентних сполук (каталізаторів), тугоплавких електропровідних або зносостійких нітридів, карбідів металів, вирощування монокристалів тощо. У гетерогенних плазмохімічних процесах первинна сировина надходить у плазму у вигляді дрібнодисперсної твердої або рідкої фази. Значно поширено створення оксидів металів: Fe_2O_3 – ферошару магнітних стрічок звукозапису, полірувальних паст − CuO, прискорювача вулканізації ZnO, пігментів фарб ZnO, TiO_2. Порошки відрізняються високою дисперсністю, до 94 % частинок мають розмір менший ніж 1 мкм.

Використання низькотемпературної плазми дозволяє створити дуже чисті порошки з необхідним розміром частинок (включаючи тонкодисперсні).

Можливість поєднання декількох стадій процесу в одному швидкісному апараті дозволяє вирощувати у плазмі монокристали для напівпровідникової та лазерної техніки, точного машинобудування, свердлильного інструменту. Промисловість виробляє монокристали корунду, карбіду кремнію, тугоплавкого бориду, діоксид цирконію, оксид натрію, а також деяких металів (вольфраму, молібдену, ренію тощо). Порівняно з полікристалами монокристали характеризуються стійкістю проти рекристалізації, високою пластичністю, сумісністю із різними середовищами (ядерним паливом, металевими розплавами, парами лугових металів).

Виробництво пластмас. До полімерних матеріалів належать, переважно, синтетичні органічні полімери. Молекули полімерів побудовано із однотипних груп атомів-мономерів, які багаторазово повторюються. Кількість елементів ланок, які входять до складу молекул, може бути від 100 до 1 000. Збільшення кількості елементарних ланок сприяє підвищенню твердості й температури плавлення полімеру, знижується його здатність розчинятися в органічних розчинниках тощо. Властивості полімерів залежать також від хімічного складу мономерів, форми ланцюгів молекул, їхньої будови. Синтетичні полімери створюють у результаті перебігу реакцій полімеризації та поліконденсації [25, 115].

Полімеризація − це процес з'єднання багатьох молекул у велику молекулу полімеру із тим самим елементарним складом, який має вихідний мономер. Водночас має місце розрив подвійних зв'язків із утворенням реакційновластивих мономерних груп, які з'єднуючись між собою, утворюють молекули полімеру. Побічні продукти в цьому разі не виділяються. Процеси полімеризації виконують у розчині емульсії, суспензії із застосуванням каталізаторів.

У разі блокової полімеризації чистий мономер і каталізатор вводять у реактор, де під дією температури відбувається процес полімеризації. Таким методом виробляють листові матеріали з полістиролу, поліетилену, поліметилметакрилату, натрій-бутадієнового каучуку. Під час полімеризації в емульсії мономеру змішують із ініціатором і емульгатором у воді (частинки мономера перебувають у стані суспензії), внаслідок підігрівання в емульсії утворюється полімер (синтетичний латекс).

Цей спосіб використовують для створення полівінілхлориду, деяких марок полістиролу та різних співполімерів бутадієну, вінілацетату, акрилонітрилу.

Полімеризацію в розчині виконують із використанням розчинника, який розчиняє мономер і полімер або тільки мономер. Утворені полімери мають однорідний склад. Цей спосіб використовують для створення полівінілацетату, полібутилакрилату тощо.

Суспензійна полімеризація полягає в тому, що мономер рівномірно розподіляється у воді, розчинники, які використовують, розчиняються в мономері та не розчиняються в воді. Полімеризація відбувається самостійно в кожній великій краплині мономеру розміром до 0,3 см. Полімер утворюється у формі твердих частинок, які не розчиняються у воді та виділяються фільтруванням.

Поліконденсація – це утворення високомолекулярної сполуки, унаслідок взаємодії великої кількості молекул двох або декількох різних мономерів з одночасним виділенням побічних низькомолекулярних продуктів реакції (H_2O, NH_3, HCI, CO_2, ефіру тощо). Створені у процесі поліконденсації полімери мають лінійне (поліаміди, поліефіри, полікарбонати) і просторове утворення (амінокислоти, фенолальдегідні смоли). Процес виконують у розплаві, розчині та на поверхні двох фаз. Сировиною для виробництва полімерів є: продукти коксохімічної промисловості (бензол, фенол, ксиленоли, крезоли, резерпін, фенатрен,

етилен, нафталін), продукти нафтохімічної промисловості (етилен, пропілен, бутилен, ацетилен, бензол, фенол, ацетон), продукти перероблення природного газу (ацетилен, метанол, аміак, карбамід), мінеральна сировина (сірчана кислота, хлор, оксид вапняку), рослинна сировина (целюлоза, фурфурол).

Властивості пластмас. Густина змінюється від 0,9 до 2,5 г/см^3. Пластмаси у два рази легші за алюміній і в 5 − 6 разів − за сталь, мідь, бронзу. Міцність, наприклад, скловолокніту на стиснення − 130, на вигинання − 100 і на розтягнення − 800 МПа. Пластмаси не розчиняються в кислотах, лугах; не проводять електричний струм, тепло; гарні діелектрики, мають високі фрикційні властивості, але в них низька теплостійкість (70 – 250 °С) і вони із часом старіють. Пластмаси розподіляють на прості та складні.

Прості пластмаси складаються тільки із смол, до складу яких іноді додають пластифікатори (поліетилен, органічне скло тощо).

Складні пластмаси мають у своєму складі наповнювачі, речовини, що зв'язують, пластифікатори, каталізатори, стабілізатори, фарби, мастильні речовини. Як речовини, що зв'язують у моноліт, є, головним чином, синтетичні смоли. Наповнювачі додають із метою поліпшення фізико-хімічних властивостей (порошки, тканини, борошно дерева, кварцу, слюди, графіту, паперу, скла, азбест тощо). Пластифікатори підвищують пластичність, що сприяє формуванню виробів, підвищує гнучкість, еластичність тощо (камфора, стеарат, олеїнова кислота, алюміній, дибутилфталат, гліцерин, трикрезилфосфат). Речовини і каталізатори, які тверднуть, додають у пластмаси із метою як найшвидше перевести їх у твердий, неплавкий і нерозчинний стан (гексаметилентетрамін, магнезія, вапно тощо). Класифікують пластмаси залежно від походження зв'язуючих речовин у їхньому складі під час нагрівання (термопластичні та термореактивні пластмаси).

Термопластичні пластмаси у процесі нагрівання розм'якшуються, під час охолодження тверднуть і в ході повторного нагрівання знову розм'якшуються, що дозволяє відходи використовувати повторно для виготовлення виробів.

Термореактивні пластмаси після твердіння повторно не розм'якшуються і більше їх не використовують.

Виробництво поліетилену пов'язано з полімеризацією газоподібного етилену високої чистоти (рис. 9.14). Етилен, змішаний із кис-

нем, надходить у компресор 1, де стискається до 150 МПа і після проходження через масловіддільник 2 прямує в реактор 3, у верхній частині якого етилен нагрівається до температури реакції 180 – 200 °С, а в нижній – полімеризується.

Реактор зроблено із похило розташованих труб високого тиску діаметром до 25 мм і загальної довжини до 300 м; верхня частина труб нагрівається, нижня − охолоджується водою для відбору тепла реакції полімеризації. Із реактора розплавлений полімер і непрореагований етилен після сепаратора 4 подають у приймач 5 низького тиску 0,3 МПа, де поліетилен відокремлюється від етилену. Непрореагований етилен, проходячи через уловлювач 6, очищається, промивається від залишкових продуктів і знову повертається до процесу. Поліетилен із приймача 5 потрапляє до обігрівального приймача і виходить із нього у формі гранул або джгутів.

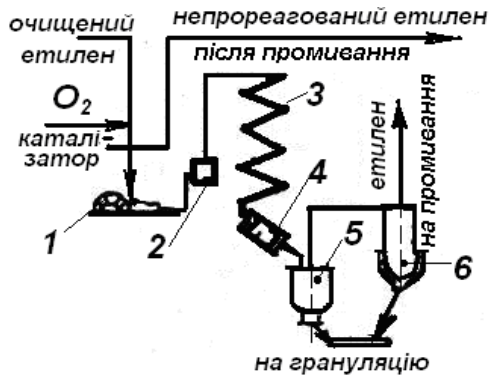


Рисунок 9.14 – Схема установки для отримання поліетилену під тиском

Створений поліетилен може підлягати стабілізації (змішуванню із сажею), фарбуванню. За один цикл на поліетилен перетворюється 15 – 20 % етилену, а загальний ступінь перетворення під час неодноразової циркуляції газу досягає 93 – 98 %. Поліетилен легко переробляють у вироби й напівфабрикати, тонкі плівки, листи, волокна, прутки, труби тощо; понад 50 % використовують для електроізоляції, до 20 % – на виробництво труб, до 15 % – на виробництво плівки, листового матеріалу.

Полістирол виробляють шляхом полімеризації стиролу лаковим, емульсійним, блоковим способами.

Полістирол прозорий, має абсолютну водостійкість, хімічну стійкість, гарні діелектричні властивості. Полістирол використовують у високочастотній електротехніці, хімічній промисловості (трубопроводи, посудини, деталі тощо), як тару у споживчій промисловості, поліграфічному виробництві. Шляхом пресування із полістиролу виготовляють тканину та волокна, із яких створюють матеріали, які мають високу міцність і прозорість. У будівельній техніці використовують облицювальні полістирольні плитки.

9.2. Сучасні технології виробництва матеріалів та житлового будівництва

9.2.1. Властивості будівельних матеріалів та їх класифікація

Будівельні матеріали класифікують за видом сировини і способом виготовлення: природні, керамічні, безопалені, металеві, полімерні, лісоматеріали, зі скляних та інших розплавів, на основі бітумів і дьогтів [44, 115] (рис. 9.15).

Класифікують будівельні матеріали за призначенням: конструкційні, зв'язувальні, оздоблювальні, теплоізоляційні, для підлог, для скління тощо [44].

Розрізняють мінеральні та органічні будівельні матеріали. Мінеральні матеріали відрізняються високою щільністю, міцністю, морозостійкістю, хімічною стійкістю та вогнестійкістю (для конструкційних елементів і деталей).

Органічні матеріали (за винятком лісоматеріалів) використовують, переважно, як теплоізоляційні, оздоблювальні, покрівельні матеріали.



Рисунок 9.15 – Будівельні матеріали

Природні кам'яні матеріали та вироби із них

Гірські породи залягають у вигляді суцільних масивів. Здобуті з гірських порід кам'яні матеріали називають нерудними (неметалевими) копалинами. Гірські породи розподіляють на виверженні, осадові й метаморфічні.

Виверженні гірські породи – це породи з розплавленої магми (кварц – кристалічний кремнезем SiO_2 – набув найбільшого поширення).

Осадові гірські породи – це продукти фізичного та хімічного розпаду первинних гірських порід під дією вітру, сонця, води, температури: глина, пісок, вапняк.

Метаморфічні (видозмінені) гірські породи – це матеріали, у яких зміни будови або складу відбулися під впливом високих температур і тиску. До них належать гнейси, що застосовують у вигляді бутового каміню для спорудження фундаментів; мармури – це видозмінені кристалічні вапняки та доломіти, що застосовують для облицювання стін будівель.

Виготовлені буропідривними методами в кар'єрі, природні кам'яні матеріали відправляють або безпосередньо на будівельні майданчики, або на каменеобробні заводи.

Блоки або штучні каміні певної форми, великих розмірів добувають шляхом різання гірської породи спеціальними машинами.

Природні піщано-гравійні суміші добувають одно- або багатоковшовими роторними екскаваторами або гідромеханічним способом. Піщано-гравійні суміші переробляють на гравій і пісок, сортуючи на ситах із відділенням пилу та глини.

Щебінь виготовляють шляхом подрібнення порід на дробильному обладнанні. Гравій та щебінь розподіляють на чотири фракції розміром 5 – 10; 10 – 20; 20 − 40 і 40 − 70 мм. Пісок − це суміш частинок розміром від 0,15 до 5 мм. Штучні каміні обробляють на спеціальних машинах і верстатах. Обробка складається з операцій розпилювання блоків на плити та бруски необхідної товщини, фрезування, оздоблення плит і брусків за відповідними розмірами, профілюванням та оздобленням лицевої поверхні камня.

Залежно від призначення, матеріали розподіляють на декілька видів. Матеріали та вироби для викладання фундаментів і стін (бутові, колоті, пиляні каміні з міцних гірських порід використовують для підземних робіт), пиляні та колоті каміні та блоки з пористих порід − для викладання стін.

До облицювальних та архітектурних виробів із різних порід належать: плити, блоки, плити для настилу підлоги й облицювання стін, профільні елементи облицювання стін, цокольні плити і каміні, карнизи, вузлові та підвіконні плити, елементи сходів, паркету і огорожі.

Матеріали та вироби для дорожнього будівництва − це бортові камені, брущатка, колотий або бруковий камінь, щебінь, пісок і мінеральний порошок.

Матеріали та вироби для підземних і гідротехнічних споруд та мостів містять: плити, каміні для облицювання тунелів і надводних частин споруд, природні каміні (рвані, колоті й пиляні, щебінь) для гідротехнічних споруд.

Хімічні й теплостійкі матеріали та вироби: каміні рівної форми та фасонні, плити облицювальні для підлоги, каміні рвані, щебінь і пісок для бетонів, розчинів, мастик, замазок. Для захисту від кислот та високих температур використовують, переважно, виверженні породи, а для захисту від лугів – осадові.

Керамічні будівельні матеріали та вироби із них

До виробів із керамічних будівельних матеріалів належать штучні камінні вироби, виготовлені із глиняних мас із домішками або без домішок інших матеріалів шляхом формування та подальшого випалення (спікання глин).

Класифікацію керамічних матеріалів пов'язано із тим, що вони відрізняються за структурою, за ступенем однорідності та за конструктивним призначенням.

Залежно від *структури*, вони бувають: щільні, які спеклися та не пропускають воду; із водопоглинанням – менше ніж 5 %; пористі, із водопоглинанням понад 5 %.

За *ступенем однорідності*, керамічні будівельні матеріали розподіляють на грубу і тонку (фарфор, фаянс) кераміку.

За *конструктивним призначенням*: стінові вироби (цегла, керамічні каміні), вироби для облицювання фасадів будівель (лицьова цегла, плитки, килимова кераміка), вироби для внутрішнього облицювання, вироби для перекриттів, покрівельні вироби, тепло- та звукоізоляційні вироби, санітарно-технічні вироби, вироби дорожньо-будівельного призначення, вироби для підземних комунікацій, наповнювачі для легких бетонів, кислототривкі вироби, вогнетривкі вироби.

Керамічні вироби бувають *глазуровані* та *неглазуровані*.

Основною сировиною для виготовлення керамічних матеріалів є *глини* (осадові гірські породи, що складаються переважно із глинистих матеріалів). Глиниста порода – це механічна суміш глиноутворювальних мінералів, тонкозернистих домішок-украплень (домішки: кварцовий пісок, пил, карбонатні породи, лужні й залізні породи, лужні й залізні оксиди).

Розрізняють такі властивості глинистих порід: гранулометричний склад, пластичність глин, сполучну здатність, усадку глин під час сушіння, вогнестійкість, можливість спікання.

Видобуток глини здійснюють у кар'єрах. Обладнання, що застосовують для цього: багатоківшеві, одноківшеві з дизельним двигуном і роторні екскаватори, канатні скрепери (транспортування та сушіння глини).

Формування виробів здійснюють, переважно, на пресах. Схема технологічного процесу виробництва цегли містить: приготування глиняної маси, формування виробів, сушіння відформованих виробів і їхнє випалювання (в кільцевих або тунельних печах безперервної дії).

Тунельні печі більш економічні, порівняно із кільцевими, через більш високий рівень механізації виробництва, а також краще використання теплової енергії. У процесі випалювання формують міцність, водостійкість, морозостійкість тощо.

Керамічні порожнисті каміні отримують методом пластичного формування із рівними, рифленими поверхнями та наскрізними пустотами. Використовують для викладання носійних стін і перегородок, виготовлення цегляних панелей, стін каркасних споруд. Не можна використовувати порожнисті каміні для викладання фундаментів, цоколів споруд, а також для зовнішніх стін вологих приміщень.

Стінові цегляні панелі виготовляють із цегли або керамічних камінів на основі цементації їх у моноліт цементно-піщаним розчином. Для зовнішніх стін виробляють двошарові й одношарові панелі. Технологічний процес виготовлення панелей складається із таких операцій: виготовлення цементно-піщаних розчинів, виготовлення арматурного каркасу, формування панелі, тепловологої обробки за температури 80 ^{o}C протягом 8 − 12 год, оздоблення.

Керамічні облицювальні матеріали − це облицювальна цегла, порожнисті каміні, плити, фасонна цегла, облицювальна плитка, деталі для карнизів із гладенькою, рельєфною та глазурованою поверхнею.

Килимова кераміка – це плитки невеликих розмірів різного кольору 48×48×4 мм, килими – 724×464 і 672×424 мм із водопоглинанням не більше 12 %. Килимову кераміку широко використовують для облицювання стінових панелей, стін спортивних і торговельних приміщень.

Глазуровані плитки виготовляють способом напівсухого пресування. Для внутрішніх робіт плитки виготовляють розміром 150×150 мм або 100×100 мм товщиною 4 − 5 мм. Водопоглинання − не більше ніж 16 %, вони термічно стійкі.

Використовують глазуровані плитки для облицювання кухні, санітарних приміщень, житла, шкіл, дитячих садків, лікарень, торговельних підприємств, пралень, лазень, стін лабораторій, а також для облицювання стін і переходів метрополітену. Плитку для підлоги виготовляють із глини шляхом пресування і наступного відпалювання до спікання. Виробляють великі прямокутні, трикутні, шестигранні, восьмигранні плитки розміром довжини грані від 50 до 150 мм і товщиною 10 – 13 мм. Лицьова поверхня може бути гладенькою, тисненою й шорсткою різного кольору із водопоглинанням не більше ніж 4 %.

Плитки широко використовують для облицювання підлоги в санітарних вузлах, вестибюлях громадських приміщень, лазнях, пральнях, м'ясокомбінатах.

Теплоізоляційні керамічні матеріали на основі глин. До них належать керамзит та аглопорит, що використовують, переважно, як заповнювачі легких бетонів. Технологію їхнього виробництва засновано на термічному обробленні сировини, під час якої в масі утворюється в'язка фаза, здатна утримувати газоподібні продукти горіння, які спучують, утворюючи пори в опалюваному матеріалі.

Керамзит – це легкий порожнистий матеріал чарункового устрою, який виготовляють у процесі обпалювання легкоплавких глинистих порід, здатних спучуватися під час швидкого нагрівання в інтервалі температур 1150 − 1250 °С. Активного спучування досягають шляхом меленого вугілля, тирси, залізної руди, мастила, мазуту.

Якість керамзитового гравію характеризують за розміром зерна: 5 − 10, 10 − 20, 20 − 40 мм, межа міцності 0,6 − 0,7 МПа, водопоглинання − 15 – 25 %.

Керамзит використовують як пористий наповнювач легких бетонів, а також як теплоізоляційний матеріал.

Скло та вироби із нього. До виробів із скла належать:

- матеріали для заповнення отворів будівель і споруд (скло віконне, вітринне, армоване, візерунчасте, тришарове, загартоване):
- матеріали для будівельних конструкцій (склоблоки, профільне скло);
- облицювальні та оздоблювальні матеріали (плитки скляні облицювальні);
- теплоізоляційні матеріали (скловата, скловолокно).

Сировинні матеріали: головні (оксиди кремнію – кремнезем SiO_2; алюмінію – глинозем Al_2O_3; бору – B_2O_3; натрію – Na_2O, калію K_2O; кальцію CaO; магнію MgO) і допоміжні (для прискорення варіння скла та надання йому необхідних властивостей) – прискорювачі варіння, освітлювачі, безосвітлювачі, глушники, барвники.

Виробництво *будівельного скла* охоплює: підготовку сировинних матеріалів, приготування скляної шихти, варіння скла, формування виробів, випалювання відформованих виробів.

Основні *види скляних виробів*: скло листове, віконне, загартоване, тришарове, армоване, візерункове, вітринне, увіолеве, профільне будівельне, склопакети, блоки скляні порожнисті, марболіт, стемаліт, піноскло смальта.

Мінеральні зв'язувальні речовини, бетон, залізобетон.

Класифікація та основні властивості зв'язувальних речовин

До *зв'язувальних речовин* належать: цемент, будівельне вапно та гіпс [115]. *Мінеральні* зв'язувальні речовини − це порошкові матеріали, які в разі змішування із водою утворюють пластичну масу, яка твердне в міцне каміння. Їх розподіляють на повітряні та гідравлічні.

Повітряні зв'язувальні речовини тверднуть у повітряному середовищі, *гідравлічні* − у воді. Тому повітряні речовини використовують для спорудження наземних будівель, гідравлічні − можна використовувати в наземних, підземних, гідротехнічних та інших спорудах. До повітряних належать гіпсові й магнезіальні зв'язувальні речовини, до гідравлічних − різний цемент (портландцемент, глиноземистий цемент, шлаковий цемент, гідравлічне вапно). Вапняні зв'язувальні речовини можуть бути як повітряними, так і гідравлічними. Розрізняють зв'язуючі речовини за властивостями їхнього затвердіння.

Основні властивості мінеральних зв'язуючих речовин: нормальна густина тіста; швидкість схоплювання; механічна міцність після затвердіння; тонкість помелу.

Портландцемент є продуктом тонкого подрібнення цементного клінкеру, утвореного в результаті випалювання до запікання сировинної суміші вапняку та глини, що забезпечує переважання в цементі силікатів кальцію. Це гідравлічна в'язка речовина, що твердне на повітрі та у воді – найважливіший будівельний матеріал.

Залежно від виготовлення сировинної суміші, розрізняють вологий і сухий способи виробництва цементу. Більш поширено *вологий* спосіб (рис. 9.16). Технологічний процес виготовлення цементу складається із таких операцій: підготовки клінкеру, молоття клінкеру в тонкий порошок та змішування його із домішками.

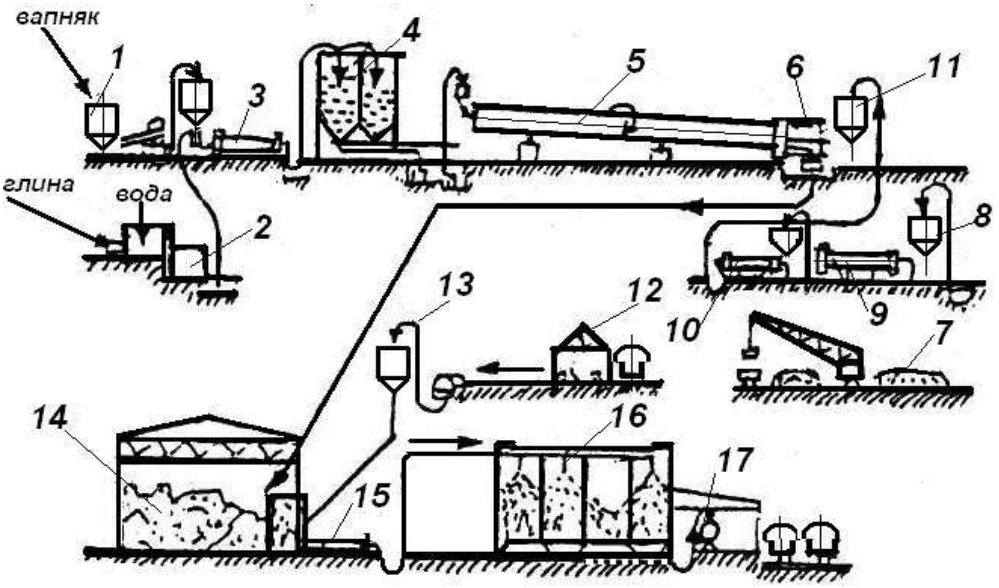


Рисунок 9.16 – Схема виробництва портландцементу вологим способом: 1 – дробарка; 2 – басейн для перемішування глини; 3 – млин для молоття сировини; 4 – шлам-басейн; 5 – піч; 6 – холодильник; 7 – склад вугілля; 8 – елеватор для подачі вугілля із дробарки в бункер; 9 – сушильний барабан для вугілля; 10 – млин для вугілля; 11 – насос для подачі вугільної пилу; 12 – склад гіпсу; 13 – елеватор для подачі гіпсу із дробарки в бункер; 14 – склад клінкеру; 15 – шаровий млин; 16 – силоси для цементу; 17 – упакування цементу

Сировина (вапняк, крейда, глина) підлягає попередньому подрібненню в щокових і валкових дробарках до шматків розміром не більше ніж 5 − 10 мм. Потім м'які компоненти (крейда, глина) перемішуються в залізобетонних резервуарах діаметром 5 − 10 м та висотою 2,5 − 3,5 м,

футерованих чавунними плитами. Утворена суспензія проходить через отвір із сіткою й перекачується в млин, до якого безперервно надходить крейдяний шлам або роздрібнений вапняк.

Трубчастий млин − це сталевий барабан довжиною до 15 м і діаметром до 3 м, розподілений перегородками з отворами на 2 − 4 камери, який обертається навколо своєї осі. Матеріал у млині роздрібнюється сталевими кулями. Тонко роздрібнена сировина вологістю 35 – 40 % витікає із млина й за допомогою насосів транспортується у шлаковий басейн, де накопичується запас і коректується склад шламу перед випалюванням.

Випалювання виконують у спеціальних обертових барабанних печах діаметром 4 − 7 м і довжиною 150 − 300 м. Барабан має нахіл 4 і обертається зі швидкістю 1 об./хв. У нижній частині печі розміщено факел горіння палива. Суміш повільно переміщується вздовж барабана, спочатку підсушується, потім із неї вигорають органічні речовини, відбувається дегідратація глини, а за температури 700 °С починає розкладатися вуглекислий кальцій. Процес закінчується за температури 1000 − 1100 °С, після чого вільне вапно CaO вступає в реакцію з оксидами глини (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3). За температури 1 450 °С утворюються клінкерні мінерали: трикальцієвий силікат $3CaO \cdot SiO_2$ (45 – 65 %), двокальцієвий силікат $2CaO \cdot SiO_2$ (20 – 35 %), трикальцієвий алюмінат $3CaO \cdot Al_2O_3$, чотирикальцієвий алюмоферит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (10–18%). Із підвищенням температури до 1450 − 1470 °С починається процес спікання матеріалів та утворення клінкеру у вигляді гранул розміром 10 − 15 мм.

Цементний клінкер охолоджують у холодильниках, потім транспортують на склад для остаточного охолодження та вилежування перед молоттям. Під час вилежування вільне вапно гасять вологим повітрям і клінкер стає більш пухкий, що полегшує його молоття. Роздрібнення клінкеру з домішками здійснюють у багатокамерних кульових млинах. Готовий цемент транспортують у силос для охолодження.

Сухий спосіб отримання цементу відрізняється тим, що вологі матеріали після попереднього молоття роздрібнюють у кульових млинах без операції утворення шламів. Якщо сировина є дуже вологою, її підсушують. Готові порошки перемішують і подають у піч для випалювання. Сухий спосіб є більш економічним, бо не потребує палива на випаровування води під час використання шламів.

Портландцемент виробляють чотирьох марок: 300, 400, 500, 600, що відповідає міцності 30 − 60 МПа. Тонкість роздрібнення має бути не меншою ніж 85 % від ваги проби.

Різновиди портландцементу. Виробляють пластифікований, гідрофобний, сульфатостійкий, швидкотвердіючий, білий, кольоровий, тампонажний та інші цементи.

Пластифікований і гідрофобний портландцементи відрізняються від звичайних уведенням незначних кількостей (0,1 − 0,3 %) спеціальних домішок (сульфітно-спиртової барди, асидолу тощо). Домішки допомагають розчинам краще заповнювати форми й підвищують морозостійкість. Марки пластифікованого портландцементу 300 − 500, а гідрофобного − 300 − 400. Використовують такий цемент для споруд, які працюють в умовах частих заморозків і вологості.

Сульфатостійкий портландцемент володіє підвищеною сульфатостійкістю. Цього досягають, завдяки точному дотриманню вмісту трикальцієвого силікату (не більше ніж 50 %), а також не більше ніж 5 % трикальцієвого алюмофериту. Ніяких додатків у шихту не дають. Виготовляють таким способом цемент тільки однієї марки − 400. Використовують його для споруд, які працюють в умовах сульфатної агресії із перманентним заморожуванням, зволоженням і відтаванням.

Шлакопортландцемент і пуцолановий портландцемент виготовляють шляхом додавання у продукти молоття 30 – 60 % доменних шлаків (шлакопортландцемент) або 25 – 40 % порід вулканічного чи осадового походження. Такий цемент має високу корозійну стійкість, зокрема в морських і сульфатних водах. Марки шлакопортландцементу 200 − 500, пуцоланового − 200 − 400. Використовують для виробництва збірних залізобетонних конструкцій, які підлягають дії звичайних і мінеральних вод.

Швидкотвердіючий портландцемент характеризується інтенсивним нарощуванням міцності в початковому періоді твердіння. Таких властивостей досягають, завдяки більш тонкому помелу і регулюванню хімічного і мінералогічного складу сировини. Марки цементу не нижчі за 400 використовують для виготовлення збірних залізобетонних конструкцій, які потребують скороченого циклу виготовлення.

Білий і кольоровий портландцементи виготовляють із портландцементу з незначною кількістю заліза і додаванням білого доломіту й гіпсу. Кольоровий портландцемент може бути жовтим, рожевим або чорним, залежно від домішок. Використовують такий цемент для вико-

нання оздоблювальних і штукатурних робіт. Тампонажний портландцемент виготовляють для заповнення простору між трубою та ґрунтом. Цементне тісто має високу пластичність і відносно невеликий час тужавлення. Для гарячих шпар виготовляють цемент, початок твердіння якого 1 год 45 хв, і кінець − не пізніше ніж 4 год 30 хв.

Глиноземистий цемент. Такий цемент виготовляють із клінкеру, до складу якого входять, головним чином, однокальцієві алюмінати $CaO \cdot Al_2O_3$, п'ятикальцієві триалюмінати $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ та трикальцієві двоалюмінати $3CaO \cdot 2Al_2O_3$. Сировиною для виготовлення глиноземистого цементу є вапняк та боксит. Виготовляють цемент за двома способами: спіканням, як і портландцементи, і розплавленням. Найбільш поширений другий спосіб, за яким клінкерний матеріал є відходом доменного, вагранкового й електричного пічного виробництв, шлаки яких гранулюють й відправляють на цементні заводи. Глиноземистий цемент швидко твердне. Випускають його різними марками 400, 500 і 600. Міцність 40 − 60 МПа вони досягають через три доби.

Використовують його для виготовлення жаростійких розчинів і бетонів. Бетони дуже міцні та володіють значною стійкістю проти сульфатних і мінералізованих вод. Дуже зручний він в аварійних роботах, бетонуванні взимку, тампонуванні нафтових і газових свердловин. Головним недоліком глиноземистого цементу є обов'язкове дотримання температури твердіння не більше 30 °С.

Гіпсоглиноземистий цемент виготовляють шляхом додавання до клінкерного матеріалу до 30 % природного гіпсу $Ca_3O_4 \cdot 2H_2O$. Швидкість твердіння є дуже високою. Початок тужавлення − через 20 хв, а кінець − не пізніше ніж 4 год. Виготовляють дві його марки: 400 і 500. Гіпсоглиноземистий цемент розширюється під час твердіння у воді. На повітрі за достатньої вологості цемент не змінюється. Його використовують для ліквідації швів, стиків, тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях, для гідроізоляційних штукатурок.

Цемент не можна використовувати для конструкцій, які працюють за температури, вищої за 80 °С.

Питома вага сировини й матеріалів у собівартості цементу становить майже 25 %. До видобутку, транспортування та підготовки сировини залучають понад 1/3 всіх працівників підприємства. Витрати на паливо досягають 230 − 340 кг/т. Майже 40 % електроенергії від загальної потреби витрачається на роздрібнення цементу.

Виробництво *будівельного гіпсу* складається із роздрібнення, молоття та теплового перероблення (дегідратації) гіпсового каміня. Найбільш поширено схему виробництва будівельного гіпсу із використанням варильних котлів періодичної дії. Використовують гіпс у процесі виготовлення гіпсових і гіпсобетонних будівельних виробів для внутрішніх частин приміщень (перегородних плит, панелей, сухої штукатурки, декоративних та оздоблювальних матеріалів, наприклад, штучного мармуру).

Собівартість гіпсу майже така, як і собівартість цементу, але капітальні витрати у 2 − 3 рази менше. Питома вага витрат на сировину та побічні матеріали в собівартості гіпсу становить 33 – 54 %; на заробітну плату − до 24 – 37 %, що значно вище, ніж в інших виробництвах будівельних матеріалів.

Будівельне вапно. Вапно − це зв'язувальний матеріал, який виготовляють помірним випалюванням кальцієво-магнієвих гірських порід − вапняку, крейди, доломітових і мергелястих вапняків, доломіту тощо. У процесі випалювання відбувається дисоціація вуглекислого кальцію і магнію на оксид кальцію й магнію та вуглекислий газ. Домішки кремнію, алюмінію й заліза взаємодіють з оксидами кальцію і магнію із утворенням силікатів та алюмінатів кальцію й магнію, як це має місце в цементному клінкері. Температура випалювання залежить від міцності та виду сировини, а також кількості домішок і досягає 800 − 1 200 °С.

Бетон та *залізобетон*. Бетон − це штучний камінь, а залізобетон – це камінь, з'єднаний із металевою арматурою.

За об'ємною масою бетони розподіляють на особливо важкі (більше ніж 2500 кг/м^3), важкі (1800 − 2500 кг/м^3), легкі (500 − 1800 кг/м^3), особливо легкі теплоізоляційні (до 500 кг/м^3).

За видами зв'язувальних речовин бетони розподіляють на цементні, вапняні, гіпсові, асфальтобетонні та полімерцементні.

Залежно від наповнювача їх розподіляють на дрібнозернисті із частинками наповнювача до 10 мм і великозернисті − від 10 до 15 мм.

За призначенням бетони розподіляють: звичайний бетон, який використовують для бетонних та залізобетонних конструкцій будівель і споруд (фундаментні блоки, колони, балки, плити тощо); гідротехнічний − для гребель, шлюзів, оздоблення каналів, бетон для стін споруд, легких перегородок, дорожній − для дорожніх та аеродромних покриттів спеціального призначення (кислотостійкий, теплостійкий, декоративний, для біологічного захисту тощо).

Матеріали для виготовлення бетонів − це цемент, вапно та гіпс. Наповнювачі для бетонів − дрібний пісок із розміром зерен 0,14 − 5 мм та великий − гравій, щебінь із розміром зерен 5 − 70 мм.

Для важких бетонів використовують щебінь із природного каміню, гравій, природний пісок і пісок із гірських порід, а також щебінь із доменних шлаків.

Для легких бетонів використовують природні та штучні пористі наповнювачі, а також відходи виробництва. Природні − це пісок і щебінь із пемзи, вулканічного шлаку, пористого вапняку тощо. Штучні пористі наповнювачі − керамзитовий гравій, пісок, щебінь і пісок аглопориту, гранульований доменний шлак. Залежно від розміру зерен, гравій і щебінь розподіляють на такі фракції: 5 − 10, 10 − 20, 20 − 40, і 40 − 70 мм. Кількість глини, мулу та пилу в наповнювачах не має бути більшою за 3 %. Міцність зерен наповнювачів важких бетонів у 1,5 − 2 рази вище від марки бетону. У воді має бути не більше ніж 5 г солей на 1 л води й сульфатів − не більше ніж 1 %. До складу легких бетонів входять піноутворювачі (клей-каніфоль і смоло-соломіт) та утворювачі газу (алюмінієва пудра).

На міцність бетону впливають зерновий склад наповнювачів, ступінь ущільнювання бетонної суміші, тривалість та умови твердіння бетону. На швидкість зростання міцності бетону впливає температура навколишнього середовища. За температури 70 – 80 °С у середовищі насиченої пари бетон через 10 − 12 г набирає 60 – 70 % міцності. За температури, нижчої за нуль, бетон не твердне.

Залежно від призначення, збірні залізобетонні вироби розподіляють на чотири групи: для житлових і громадських споруд, для промислових та інженерних споруд, для сільськогосподарського будівництва. Бетонні суміші виготовляють у бетонозмішувальних цехах заводів. Процес складається із дозування компонентів у дозаторах та їхнього перемішування у змішувачах.

9.2.2. Основи організації будівництва

Технології будівництва призначено для зведення та реконструкції будівель, а також їхнього розбирання й переміщення (рис. 9.17). Вони охоплюють галузь матеріального виробництва, продукцією якої є готові до експлуатації будівлі та споруди. У ході будівельного процесу його

учасники за допомогою знарядь праці (інструментів, механізмів та пристосувань) перетворюють предмети праці (матеріали, вироби і конструкції) на будівельну продукцію (об'єкт будівництва) [5, 22, 25].





Рисунок 9.17– Сучасні технології будівництва

До основних видів *будівельних робіт* під час зведення будинків або споруд належать:

- будівельні (земляні, монтажні, бетонні, кам'яні, штукатурні, покрівельні тощо);
- спеціальні (монтаж ліфтів, системи водопостачання, опалення, газопостачання, каналізації, вентиляції тощо);
- допоміжні (доставляння матеріалів на об'єкт, їхнє розвантаження, складування тощо).

Кожен вид робіт об'єднує кілька комплексних процесів – це сукупність простих процесів, пов'язаних випуском кінцевої продукції (бетонування залізобетонного каркасу або мурування стін з усіма супутніми допоміжними роботами): транспорт, земляні роботи, кам'яне муруван-

ня, бетонні та залізобетонні роботи, дерев'яні роботи, монтаж будівельних конструкцій, покрівельні роботи, оздоблювальні роботи, налагодження покриттів підлог.

Поява інноваційних технологій у виробництві та будівництві – невід'ємна закономірність наукового прогресу. Метою створення нових або модернізація чинних технологій є потреба людини в більш дешевому, екологічно чистому й надійному матеріалі [48, 115].

В умовах виключно швидкого технічного прогресу все більше скорочуються періоди створення та впровадження нових видів виробів і нових напрямів техніки. Поглиблюють спеціалізацію виробництва, автоматизують технічні процеси та їхнє управління, в усі галузі виробництва проникає обчислювальна техніка. На основі цих прогресивних змін закладають основи промислового майбутнього.

Проект сучасного промислового підприємства охоплює комплекс найскладніших питань, серед яких, крім технологічних та архітектурно-будівельних питань, мають одночасно вирішувати питання санітарно-технічного, енергетичного та іншого обладнання в погодженості із усіма інженерними комунікаціями та пристроями. Необхідність у жорсткій економії території, придатної для промислового будівництва, неминуче приведе до широкого застосування багатоповерхових будівель і будинків підвищеної поверховості.

Одним із найважливіших напрямів технічного прогресу у промисловому будівництві, а зокрема, у проектуванні багатоповерхових будинків, буде подальше вдосконалення типового проектування. Ідеться щодо розроблення нових уніфікованих об'ємно-планувальних і конструктивних параметрів будівель та споруд.

Під час проектування промислових об'єктів із використанням типових рішень відкриваються широкі можливості впровадження нової вдосконаленої технології, кооперування виробництв, збільшення будівель, компактного розміщення їх на території діючих підприємств та промислових вузлах із урахуванням черговості будівництва або поверхового введення чергами. Водночас це дозволить забезпечити необхідні умови для подальшої широкої індустріалізації будівництва та скорочення термінів проектування.

Одним з основних напрямів, що визначають розвиток усіх галузей будівництва, є нові матеріали. Коли мова йде про критерії, що визначають пріоритетні, критичні технології (якість життя, безпеку, охорону

навколишнього середовища, конкурентоспроможність тощо), одним із найважливіших критеріїв є така характеристика технології, як здатність докорінно змінити, "перевернути" всю структуру виробництва, а можливо, і соціальні умови життя людства.

Перспективні будівельні технології

Теплоізоляція. Одна з тенденцій сучасного будівництва – широке використання різноманітних теплоізоляційних матеріалів – також пов'язана із питаннями зведення економічного масового житла. Енергоефективне будівництво із використанням сучасних теплоізоляційних матеріалів, включаючи витрати на їхнє розроблення та будівництво заводів, у 3 – 4 рази ефективніше, ніж традиційні технології.

Зараз на ринку подано всі відомі види теплоізоляційних матеріалів, вироблені як у нас, так і за кордоном. Це, найперше, різноманітні мінераловатні вироби, скловатні матеріали, пінополістирол та інші пінопласти. Крім того, для теплоізоляції використовують пористі бетони, спучений перліт та вироби на їхній основі.

Однак у кожного із поданих на ринку матеріалів є свої переваги та свої недоліки. Поліетиленова ізоляція, наприклад, маючи більш високі характеристики міцності, не дає повного захисту від корозії металу. Каучук же може склеюватися на молекулярному рівні й утворює герметичний контур. Тепловтрати в цьому разі мінімальні, а опір вологи – на найвищому рівні. Ринок теплоізоляційних виробів найбільш активно розвивається в бік базальту, оскільки вироби із нього мають підвищену шумоізоляцію, екологічність, характеризуються відмінними фізичними та експлуатаційними параметрами. Стримують активне використання тільки більш висока ціна та недостатній обсяг виробництва.

Покрівля є функціональною домінантою будь-якої будівлі, а від якості та надійності покрівельних матеріалів залежить не тільки рівень комфортного проживання в будинку, але й довговічність самої будови.

Останнім часом зведення великих будівельних об'єктів, зокрема й житлових висотних будівель, часто пов'язано із необхідністю в організації м'яких покрівель із маленьким нахилом та великою площею. Водночас пріоритети будівельного ринку все більше зміщують у бік довговічності конструкцій, що зводять.

На зміну традиційних руберойдів у будівництво приходять сучасні наплавлені рулонні покрівельні матеріали. Вони мають більш міцну й довговічну негниючу основу (наприклад, типу "поліестер"), передба-

чають використання нових видів бронювальних посипань. Поєднуючи бітум із полімерами (поліпропіленом, синтетичними каучуками), можна створити полімербітумну композицію, у якій властивості бітуму значно покращено. Такі матеріали міцні, довговічні, покрівлю з нього можна виготовляти в будь-який час року. До їхніх очевидних переваг слід зарахувати те, що, незалежно від умов виробництва робіт і стану поверхні, вони створюють стійкий до атмосферних впливів ізоляційний шар із необхідною гарантованою товщиною. Але, незважаючи на переваги перелічених раніше матеріалів, їхнє застосування не завжди можливе. Це стосується пристрою покрівлі на об'єктах із підвищеними вимогами пожежної безпеки.

Серед покрівельних матеріалів і технологій слід виділити полімерні мембрани. Вони виключно довговічні (термін служби від 30 до 50 років і вище), паропроникні й механічно міцні, прості в експлуатації, відносно пожежобезпечні (група горючості Г2), невибагливі до погодних і температурних умов (гнучкість на брусі 5 мм до –60 °С), що дозволяє працювати із ними цілий рік. Використання автоматичного обладнання позбавляє від проблеми неякісного виконання швів і дозволяє виконувати одношарове покрівельне покриття із високою якістю та швидкістю мурування.

Перспективні розроблення в галузі будівельних матеріалів

Ін'єкційні розчини успішно розв'язують проблеми протікання в будівництві. Вони становлять однокомпонентні поліуретанові рідини із низькою в'язкістю. Одна з переваг цих матеріалів – активно реагувати на воду із утворенням спінених структур. Саме в зіткненні із водою починається хімічна й безпечна реакція, яка призводить до розширення розчину в обсязі.

Новий теплоізоляційний матеріал становить піноматеріал із рівномірною структурою, що складається із дрібних закритих комірок. Його призначено для теплової ізоляції будівель і споруд, залізничних та автомобільних доріг, земельного полотна тощо. За своєю теплоізоляційною здатністю пінополістирол перевершує традиційні будівельні матеріали. У нього відсутнє капілярне поглинання води. Він має високий опір дифузії водяної пари. Крім того, матеріал не схильний до гниття. Особливо цінний він тому, що хімічностійкий.

Монолітна надійність висоток

Найбільш перспективною технологією зведення будівель і споруд на сьогодні є монолітне будівництво. Воно характеризується зведен-

ням конструктивних елементів із бетону з використанням опалубки – спеціальної форми, куди заливається розчин безпосередньо на будівельному майданчику. Таким чином створюють абсолютно жорсткий каркас із різними видами захисних конструкцій. Також технологія передбачає застосування пінополістиролу – легкого та простого в монтажі утеплювача. Останнім часом стали популярними розбірні опалубки багаторазового використання. Найчастіше їх застосовують у процесі зведення будинків адміністративного типу або будівель із великою кількістю поверхів. Технологію продумано таким чином, щоб прискорити процес зведення будівлі, зменшити поточний кошторис, завдяки швидкості, а також спрощення технології, використання мінімуму техніки та застосування недорогих матеріалів. Готова конструкція має поліпшені показники теплозбереження (оскільки виключає наявність містків холоду) і звукоізоляцію, відрізняється меншою вагою та більшою міцністю. До безперечних переваг можна зарахувати можливість застосовувати найрізноманітніші архітектурні рішення.

За підрахунками експертів, будівництво монолітних будівель, порівнянно зі збірним житловим будівництвом, дозволяє знизити одноразові витрати на створення виробничої бази на 30 – 40 %, знизити витрати сталі на 10 – 20 %, а енергетичні витрати на 30 %. Необхідно зазначити, що у США та країнах ЄС кількість будівель із монолітного бетону становить 60 – 80 % від загального обсягу будівництва. В Україні монолітне житлове будівництво розвинене в багато разів менше.

Різноманітні рецепти для малоповерхівок

Для приватних забудовників пропонують безліч альтернативних рішень, які дозволяють зводити будинки швидше й дешевше, водночас мінімізуючи трудовитрати та збільшуючи ефект, який зберігає тепло.

Технології сучасного будівництва експерти розподіляють на чотири групи: переставна модульна опалубка; незнімна опалубка; будівництво з 3D-панелей; каркасне домобудівництво.

Переставна модульна опалубка дозволяє зводити будинки без залучення до роботи фахівців. Цим пояснюється друга назва цього способу – "технологія індивідуального будівництва та екологія" (ТІБЕ). Стіни таких будинків складають із порожнистих блоків, які формують безпосередньо на будівельному майданчику за допомогою модульної опалубки. Модулі (форми) фіксують на тому місці, де буде стіна будинку, і в них заливають бетон. Коли розчин тужавіє, модулі демонтують і

переносять на нове місце. Серед переваг технології – відсутність містків холоду та відсутність необхідності орендувати або купувати спецтехніку.

У технології незнімної опалубки функції носійної конструкції виконує монолітний залізобетон. Як опалубку використовують блоки, плити й панелі з більш тендітних і легких матеріалів. У порожнину між блоками поміщають арматуру та заливають бетонну масу. Блоки залишаються в конструкції стін, виконуючи формоутворювальну й теплоізоляційну функції.

У світі розроблено кілька технологій незнімної опалубки. В Україні найбільш відома технологія із використанням порожнистих пінополістирольних блоків, що дістала назву *термодім*.

Перевагою технології незнімної опалубки є те, що вона не потребує наявності будівельної бригади, а господар будинку може не турбуватися про додаткову теплоізоляцію.

Технологію каркасного будівництва поширено у всьому світі. Таким способом будують малоповерхові багатоквартирні, комерційні та громадські будівлі й котеджі. Головна особливість технології – у розподілі функцій: носійна покладається на каркас, а захисна – на стіни. Таким чином, стіни значно зменшують навантаження на фундамент. Каркас може бути виготовлено з дерева або заліза й обшито із двох боків деревом, різними плитами, піноблоками, цеглою або пластиком і заповнено тепло-, волого- та звукоізоляційним матеріалом.

Найбільш простий варіант каркасного будинку зводять за каркасно-рамкової технології будівництва. Порожнечі між елементами каркаса заповнюють теплоізоляційним матеріалом. Зовні каркас облицьовують вологостійкими плитами, а для оздоблення підходять штукатурка, сайдинг та інші матеріали. У внутрішньому оздобленні найчастіше використовують листи гіпсокартону.

За каркасно-панельною технологією будинки будують за допомогою стінових багатошарових панелей. Їх виготовляють на заводі, вони вже містять утеплювач, дверні та віконні прорізи. Відмітна особливість цієї технології полягає в можливості застосувати як утеплювач целюлозні матеріали. Завдяки своєму складу (81 % – вторинна целюлоза, 12 % – безпечний антисептик, 7 % – антипірен) матеріал є недорогим, екологічно чистим, стійким до біологічного враження та впливу вогню, а також максимально заповнює порожнечі, забезпечуючи необхідний

опір теплопередачі стіновій конструкції. Недоліком технології є те, що підняти масивні панелі неможливо без спецтехніки, що робить її коштовною. Зате їй підходить будь-який тип фундаменту, і можна без проблем збільшувати площу будинку, установлюючи додаткові елементи каркаса.

До каркасних належить будівництво дерев'яних будинків із оциліндрованих або склеяних брусів. Такі будинки є дуже теплими, але деревина легко запалюється та схильна до впливу зовнішнього середовища. Водночас канадська технологія пропонує здійснювати будівництво із SIP-панелей – будматеріалу, що складається із двох плит OSB, між якими перебуває шар пінополістиролу. SIP-панельні будівлі зводять за три місяці і, як стверджують його виробники, вони в декілька разів тепліші та вдвічі дешевше, ніж бетонні або цегляні будинки.

Ідея ще однієї поширеної технології – 3D-панелі – народилася в Америці та набула застосування у Європі. Вона об'єднує принципи каркасно-панельного та монолітного домобудівництва. Каркас будівлі виготовляють із плит пінополістиролу у клітці з арматурних сіток, з'єднаних між собою. Плити заливають бетоном, який утворює надійну монолітну оболонку. На українському ринку наявні, принаймні дві подібні технології будівництва, які відрізняються деякими деталями в конструкції арматурного каркаса.

Практичний досвід

Глобальні тренди в будівництві – це перехід від пасивного до активного енергоспоживання, коли житло починає виробляти більше енергії, ніж споживає. А також використання 3D-друку в будівництві, синергія людини та природи під час будівництва житла.

Головні виклики для житлово-будівельного будівництва – це відсутність у населення грошей і можливості кредитування. Внаслідок цього необхідно здешевлювати будівництво, хоча вимоги до якості й енергоефективності, податки та вартість матеріалів зростають.

Водночас компанії головними критеріями під час вибору будівельних технологій зазначили високу якість будівель. Так, житловий комплекс "А52" в Києві, який зводив DIM, здобув сертифікат енергоефективності житлового будинку "клас А". Компанія використовує підвищену теплоізоляцію мінватою, LED-освітлення, алюмінієві енергоощадні склопакети, інженерні системи зі зниженим енергоспоживанням. У столичному ЖК комфорт-класу "Автограф" DIM використовував будмате-

ріали бізнес-класу – керамограніт, утеплення мінватою, відкриті балкони, енергозберігаючі склопакети. У планах установлення горищної котельні, щоб мінімізувати для мешканців вплив зростаючих цін на теплоносії.

Зараз стоїть проблема здешевлення будівництва, але якщо не порушувати вимоги до енергоефективності, то без зниження якості домогтися цього неможливо. Середньоринкові ціни на житло деяким компаніям вдається тримати лише завдяки грамотній оптимізації витрат на всіх етапах будівництва. Але вони й далі готові впроваджувати інноваційні рішення, а проблему вбачають у тому, що більшість сучасних будівельних технологій на сьогодні залишаються достатньо коштовними.

Запитання для самостійного контролю

1. Надайте характеристику технологій хімічної промисловості.
2. Які хімічні технології охоплює виробництво неорганічних та органічних речовин?
3. У чому полягає сутність технології виробництва аміаку?
4. Які є технології виробництва сірчаної, азотної і соляної кислоти?
5. Які є добрива та технології їхнього виробництва?
6. За якими технологіями виготовляють отрутохімікати?
7. У чому полягає сутність хімічного перероблення палива?
8. Наведіть класифікацію і властивості товарних нафтопродуктів.
9. Назвіть відмінності фотохімічного, радіаційно-хімічного та плазмохімічного процесів.
10. Де застосовують плазмохімічні процеси?
11. Назвіть технології виробництва пластмас.
12. Які основні види та властивості будівельних матеріалів?
13. Назвіть керамічні будівельні матеріали та вироби з них.
14. Сутність технологічного процесу виробництва цегли.
15. Назвіть вироби із скла та технології його виготовлення.
16. Які ви знаєте технології виготовлення керамічних плиток?
17. Призначення бетону, технології їхнього виготовлення.
18. Що таке "піноматеріал" та для чого його призначено?
19. Назвіть основні напрями підвищення ефективності виконання будівельних робіт. Що таке "монолітне будівництво"?

Література: [5, 17, 22, 25, 28, 29, 37, 44, 48, 97, 115].

Розділ 10. Основи створення ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій

10.1. Значення матеріальних ресурсів у життєдіяльності людини

Для виробництва потрібного продукту необхідна взаємодія трьох складових частин: робочої сили, предметів праці (сировини, матеріалів, напівфабрикатів, комплектувальних виробів, енергоресурсів, інформації тощо) і засобів праці (обладнання, промислових споруд, машин тощо).

Комплекс робочої сили, предметів і засобів праці – це виробничі ресурси, без яких виробничий процес не відбувається. Своєю чергою, розрізняють матеріальні, сировинні, енергетичні ресурси й ресурси робочої сили. Загалом матеріальні ресурси є комплексом речових елементів, енергії, інформації, призначених для обробки у процесі виробництва за допомогою знарядь праці. Вони складаються з матеріалів, добутих безпосередньо із зовнішнього середовища, а також матеріалів, що пройшли попередню обробку (сировина та сировинні матеріали).

Сировина – це предмети праці, на здобуття і виробництво якої витрачено роботу. У процесі перероблення сировина змінює натуральну форму, набуває нових якісних властивостей. Традиційно це результати роботи сировиновидобувних галузей.

Матеріали – це предмети праці, що пройшли перероблення в обробних галузях (чавун, титанові, алюмінієві сплави, бензин тощо). Природні продукти, які можна використовувати у виробництві, створюють природні ресурси (вода, повітря, земля, мінерали тощо).

Відсутність або обмежена наявність якого-небудь із указаних ресурсів створює загальнонаціональну або навіть глобальну проблему, пов'язану із економічною незалежністю держави та нації. Розв'язання економічних, соціальних і політичних проблем, завдань суспільства, умов і перспектив його розвитку перебувають у прямій залежності від стану й обсягу використання наявних матеріальних ресурсів (потенціалу). Проблему дефіциту матеріальних ресурсів розв'язати неможливо без ризику втратити національні державні пріоритети.

Сучасна стадія розвитку цивілізації характеризується зростанням обсягу випуску продукції в разі зниження витрат, що визначає необхід-

ність у підвищенні ефективності використання ресурсів на основі ресурсозберігаючих і безвідхідних технологій [23, 38, 66, 114, 115].

Підвищення ефективності виробництва забезпечує зростання національного прибутку на одиницю супутніх витрат. *Національний прибуток* (НП) – це різниця між валовим національним продуктом (ВНП) і витратами на його виробництво, транспортування, складування, зберігання. Підвищення НП указує на поліпшення використання національного багатства країни. У структурі НП: новоутворені цінності (чиста продукція) – 10 ... 30 %; матеріали та сировина ~ 30 %; енергія всіх видів – до 20 %; витрати на обладнання – до 20 %. Ситуацію ускладнено тим, що збільшуються масштаби використання традиційних видів сировини, корисних копалин, енергоресурсів, які відновлюються протягом тривалого часу. Ці обставини потребують розв'язання двох проблем:

1. Пошук технологій, що виключають або зменшують потребу в ресурсах.

2. Створення природовідновлювальних технологій.

Порушення господарсько-технологічних зв'язків між сусідніми регіонами загострили ресурсні та екологічні проблеми. Це привело до збільшення терміну виходу з екологічної, енергетичної, сировинної кризи приблизно у 2 – 3 рази. Така ситуація для України ставить особливо актуальні завдання, пов'язані з раціональним використанням ресурсів у режимі їхньої жорсткої економії та збереження.

Оцінювання використання матеріальних ресурсів

Якість використання витрачених: праці, коштів, матеріалів та інших видів ресурсів оцінюють за величиною досягнутого ефекту. Для співвідношення корисності використання якогось виду ресурсу в різних галузях, технологічних процесах або виробах застосовують поняття ефективності ресурсу. Для цього обчислюють значення досягнутого ефекту E на одиницю витрат ресурсу P_i, тобто значення коефіцієнта:

$$\eta = \frac{E}{P_i}. \qquad (10.1)$$

Чим більше коефіцієнт η, визначений за залежністю (10.1), тим вище ефективність ресурсу. Для розрахунку ефективності та її окремих складових частин користуються диференційованими показниками: трудомісткості, матеріаломісткості, фондомісткості, капіталомісткості виробленого продукту або досягнутого ефекту.

Трудомісткість – це величина витрат живої праці на одиницю національного прибутку, чистої товарної продукції або продукції в натуральному обчисленні. Наприклад, час, витрачений робітником на виготовлення деталі, складання вузла (хв/шт.).

Матеріаломісткість – це кількість матеріалу, витраченого на одиницю продукції. Матеріаломісткість відображає ефективність використання витрачених предметів праці (основних і допоміжних матеріалів, сировини, палива, енергії).

Енергомісткість продукції розраховують як відношення супутніх річних витрат паливно-енергетичних ресурсів (перераховують у тонні умовного палива) до обсягу виробництва, національного прибутку країни або валової продукції галузі підприємства.

Фондомісткість характеризує ефективність використання виробничих фондів (основних та оборотних), що розраховують як відношення їхніх величин за звітний період до обсягу виробництва. Зворотну величину називають *фондовіддачею*, яка є відношенням частини вартості (прибутку) до гривні або долара. Ці показники відображають організаційний та економічний стан підприємства або галузі.

Капіталомісткість продукції – це відношення обсягу капіталу, який укладено у виробництво, до приросту обсягу продукції, викликаного цим укладенням. Зворотне значення – *капіталовіддача*.

Використання диференційованих показників дозволяє оцінити стан цього виду ресурсу та встановити шляхи вдосконалення техніки й технології. Наприклад, зниження матеріаломісткості національного прибутку України на 5 … 6 % еквівалентно економії 3 млн т сталі, а зменшення енергоємності на 8 % – приблизно 40 млн т умовного палива.

10.2. Основні шляхи ресурсозбереження у промисловості

Ресурсозбереження – дуже важлива складова нашого життя, оскільки від цього залежить те, на скільки часу ще вистачить відтворювальних та невідтворювальних ресурсів.

Ресурсозбереження як система заходів, спрямованих на абсолютне та відносне зменшення витрат ресурсів, має охоплювати весь життєвий цикл виробу. Аналіз балансу ресурсів у системах виробництва,

пов'язаного з ним споживача та джерела надходження (довкілля) показує, що для збереження рівноваги в зовнішньому середовищі маса витрат ресурсу має оновлюватися, завдяки відходам, що надходять зі сфери виробництва та від споживача (рис. 10.1). Це забезпечує врівноважене природокористування [66, 114, 115].



Рисунок 10.1 – Технології ресурсозбереження

Скорочення витрат ресурсів можна досягти:

- зменшенням споживання, наприклад, шляхом збільшення довговічності (якості) виробу;
- зниженням розмірів відходів завдяки технічним і технологічним рішенням;
- збільшенням віку вторинних ресурсів;
- зменшенням маси виробів шляхом удосконалення конструкції.

Умови мінімальних витрат ресурсів установлюють такі шляхи ресурсозбереження у промисловості:

- забезпечення економії всіх видів ресурсів на етапі вибору проектних рішень, що враховують умови виробництва, експлуатації, обслуговування, ремонту тощо. Суперечність вимог визначає вибір узагальнюючих критеріїв оптимізації або мінімум витрат гостродефіцитного ресурсу в речовому обчисленні;
- використання комплексних і безвідхідних технологій;
- уведення в обіг вторинних ресурсів як основного, так і допоміжного виробництв;
- створення нових матеріалів-замінників;

- підвищення ефективності використання традиційних матеріалів (завдяки раціональності конструкції й більш доцільного використання їхніх якостей у процесі виробництва);
- використання систем нормування витрат ресурсів.

Практикою проектування та виготовлення виробів установлено ефективні методи і заходи зниження витрат (наприклад, застосування ЕСТПП):

- збільшення серійності шляхом стандартизації, уніфікації, конструктивної подібності, обмеження номенклатури рішень;
- використання конструктивної спадковості (освоєних, перевірених конструктивних рішень);
- застосування стандартного технологічного оснащення, оптимального рівня автоматизації та механізації виробництва;
- використання рішень, що забезпечують зменшення витрат часу під час експлуатації та ремонту.

Для зниження матеріаломісткості передбачено:

- використання раціонального сортаменту й марок матеріалів, раціональних способів отримання заготовок, методів і режимів виготовлення деталей;
- використання прогресивних рішень, що дозволяють підвищити ресурс виробів;
- використання мало- та безвідхідних технологічних процесів;
- розроблення раціонального компонування виробів, що скорочують витрати матеріалів у процесі монтажу;
- використання науково обґрунтованих запасів міцності, нових методів обчислень, розрахунків та випробувань виробів.

Отже, на рівні стандартів передбачено необхідний комплекс рішень для забезпечення ресурсозбереження на стадії проектування. Раціонально спроектована конструкція машини є оптимізованою за критерієм максимального ефекту на одиницю витрачених ресурсів.

Головними проектними та виробничими рішеннями з погляду економії ресурсів є такі, що забезпечують підвищення показників якості, розширення багатофункціональності використання, підвищення довговічності термінів міжремонтних періодів, ремонтопридатності продукції. Основним джерелом економії ресурсів, яку дає підвищення якості промислової продукції, є зниження потреб в обладнанні й машинах, скоро-

чення простоїв техніки, зменшення обсягу матеріальних витрат на виробництво й експлуатацію, ремонт, транспортування, збереження тощо. Поліпшення якості дозволяє на кінцевій стадії виготовити більш високопродуктивний виріб більшої надійності та меншої маси.

Для зниження витрат енергоресурсів велике значення має освоєння ресурсозберігаючих технологій, тобто створення систем, які забезпечують зменшення енергомісткості продукції, що випускають.

Найпривабливішими можна вважати два напрями розв'язання проблем ресурсозбереження.

1. Розвиток регенераційного виробництва для повторного використання відходів. Наприклад, виробництво паперу із вторинної сировини зберігає 75 – 95 % енергії, порівняно із прямим виробництвом. У світі із вторинної сировини (промислових і побутових відходів) виготовляють 45 % паперу, 50 % нікелю та срібла, 40 % міді та сталі, 45 % свинцю, 20 % алюмінію. Відходи стають суттєвою частиною національних ресурсів. Реальною може бути ситуація, коли відходи стануть одним із головних джерел сировини матеріалів, а природні ресурси будуть резервним джерелом.

2. Розроблення нових і вдосконалення наявних конструкційних матеріалів. Цей напрям більш вагомий, ніж розширення пошуку корисних копалин. Особливого значення набувають композиційні та керамічні матеріали, пластмаси; застосування технологій нанесення спеціальних покриттів із керованими властивостями.

Отже, розв'язання проблем ресурсозбереження має бути тісно пов'язано із врівноваженим, збалансованим природокористуванням.

Основні чинники та напрями економії ресурсів

Висока вартість матеріальних ресурсів та обмежені можливості їхнього поновлення визначають один із головних напрямів – усебічну економію й раціональне використання ресурсів.

Основний шлях економії матеріалів, сировини, палива (матеріальних ресурсів) полягає в розробленні та використанні ресурсозберігаючої техніки та технологій.

До основних чинників економії ресурсів належать:

- підвищення надійності та довговічності машин для зменшення їхньої загальної маси та витрат ресурсів для створення дублерів;
- поліпшення споживчих властивостей продукції;

- прискорення обороту ресурсів шляхом зменшення складських запасів, незавершеного виробництва;
- заміну традиційних матеріалів на більш ефективні, що забезпечують зменшення маси машини, а також поліпшення використання традиційних матеріалів;
- удосконалення наявних і використання маловідхідних і ресурсозберігаючих технологій для зменшення фактичних витрат матеріальних ресурсів;
- використання прогресивних норм витрат ресурсів.

10.3. Місце і роль технологій у ресурсозбереженні

Використання нових технологічних процесів і засобів праці, які є результатом науково-технічного прогресу (НТП), зменшує питомі витрати ресурсів і прискорює переоснащення всього процесу виробництва на основі створення технологічних систем (рис. 10.2). Такі системи поєднують у єдиний комплекс машини, побудовані за принципами автоматизації й безперервності процесів, а також застосування електроніки, тобто створюють гнучкі переналаштовувані виробництва і технологічні модулі.



Рисунок 10.2 – Технології ресурсозбереження

Концепцією розвитку технології є створення малоопераційних технологічно замкнених процесів, що забезпечують комплексне використання сировини, матеріалів та охорону зовнішнього середовища за інтенсифікації виробництва на основі досягнень світового НТП.

Повільні темпи зниження витрат ресурсів, наприклад у машинобудуванні, пояснюють переважанням стружкоутворювальних обробних

процесів і обладнання. Величина характерного коефіцієнта використання матеріалу (Квм) залежна від виду оброблюваної заготовки (для прокату – 0,65, для штампування – 0,53, для точного лиття – 0,85), тобто від комплексу технологій, застосовуваних у технологічній системі.

Більш перспективними із погляду ресурсозбереження є технології, що витісняють механічну обробку різанням, або зменшують її обсяг, що підвищують Квм. Прикладом може бути технологія обробки тиском із застосуванням прокатних вальцьованих верстатів, холодне та гаряче видавлювання, холодне висадження, висадка на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ), штампування, а також розкочування, накочення, зміцнення зварювальних і зварювально-складальних конструкцій, наплавлення, нанесення покриттів із керованими властивостями за поєднанням із обробкою на верстатах із ЧПУ тощо. НТП у галузі лиття, наприклад, лиття в оболонкові форми та плівково-вакуумні форми, завдяки високій точності та якості забезпечує економію 200 – 300 кг метала на кожну тонну придатного литва. Використання однієї тони виливків із виплавлюваних моделей, зберігає дві тони металопрокату, до 120 кВт електроенергії, знижує капітало- та трудомісткість виготовлення деталей.

Будь-який продукт технології реалізує свої функції, завдяки витраченим на його створення матеріальним і паливно-енергетичним ресурсам, і після завершення життєвого циклу практично не відновлює взяте із природи, тобто порушує її рівноважний стан. Тому особливе значення для забезпечення ресурсозбереження набуває інженерний проект – раціональне конструювання, яке має гуртуватися на принципах:

- поліпшення техніко-економічних параметрів і характеристик виробу за призначенням;
- використання прогресивних технологій і матеріалів;
- застосування прогресивних методів і засобів конструювання;
- забезпечення технологічності конструкції виробу.

Основні принципи створення нових технологій

На будь-якій стадії розвитку основою нових технологій є науково-технічний прогрес, а також сформульовані цілісні технологічні системи, що поєднують виробництво та управління різних рівнів.

Загальні принципи створення нових технологій такі:

- кількість операцій для створення продукту має бути мінімальним за одночасної умови їхньої концентрації на одному робочому місці;

- одноступеневий перехід від початкового стану (сировина, напівфабрикат, заготовка) до продукту;
- розміри заготовок мають максимально наближати до розмірів деталі, а деталі – до кінцевого виробу (монолітність);
- прийнятий процес перетворення енергії або речовини не мають супроводжувати додатковим підведенням енергії або технологічний процес має здійснюватися без зовнішніх джерел енергії;
- перевагу слід надавати процесам, що виділяють енергію, яку можна утилізувати для інших процесів;
- усі часткові процеси за місцем, часом і виконанням необхідно об'єднати в один комплексний процес із відповідним обладнанням;
- витрати на технологічну підготовку виробництва, технологічні засоби не мають перевищувати критичні за обсягом і часом;
- процеси мають забезпечувати урівноважене, або природоохоронне користування.

Таким чином, в ідеальному ресурсозберігаючому процесі:

- усі операції виконуються автоматично на одному робочому місці;
- дії реалізують, завдяки внутрішній енергії із утилізацією її залишків;
- управління процесом забезпечено саморегулюванням;
- одноступеневий перехід від початкового стану (сировина, напівфабрикат) до кінцевого продукту;
- маса кінцевого продукту відповідає початковій масі.

Основні поняття ресурсо- і енергозберігаючих технологій

Ресурси – це природні або створені людиною цінності, призначені для задоволення виробничих і невиробничих потреб.

Ресурсозбереження – це сукупність заходів щодо збереження та ефективного використання фактів виробництва (капіталу, землі, праці). Ресурсозбереження забезпечено за допомогою використання ресурсозберігаючих та енергозберігаючих технологій; зниження фондомісткості та матеріаломісткості продукції; підвищення продуктивності праці; скорочення витрат живої та матеріалізованої праці; підвищення якості продукції; раціонального застосування праці менеджерів і маркетологів; використання переваг міжнародного поділу праці тощо. Застосування ресурсозбереження сприяє зростанню ефективності економіки, підвищенню її конкурентоспроможності.

Ресурсозберігаючі технології – це технології, що забезпечують виробництво продукції з мінімально можливою витратою палива та інших джерел енергії, а також сировини, матеріалів, повітря, води та інших ресурсів для технологічних цілей.

Ресурсозберігаючі технології охоплюють використання вторинних ресурсів, утилізацію відходів, а також рекуперацію енергії, замкнену систему водозабезпечення тощо. Вони дозволяють економити природні ресурси та уникати забруднення навколишнього середовища.

Загальна вартість основних фондів в енергетичних галузях (включаючи трубопровідні системи) перевищує 25 % фондів загальносвітової економіки. Наприклад, на нафті тримається третя частина потужностей усієї енергетики та четверта частина потужностей усієї сировинної бази хімічної індустрії.

Тим часом, багаторічна "енергетична гонка" призвела до реальних загроз природі та клімату. Про глобальне потепління, викликане, як уважають експерти, передусім екологічними наслідками видобутку, перероблення та використання енергосировини, сказано чимало.

Великі обсяги спалювання нафти, газу, вугілля та сланців у процесі їхнього видобування та перероблення, масштаби використання продуктів перероблення первинної енергосировини, що постійно зростають, завдають комплексну шкоду навколишньому середовищу та провокують глобальні й незворотні природно-кліматичні зміни.

Отже, питання розроблення і швидкого впровадження природо- та ресурсозберігаючих енерготехнологій у наш час є надзвичайно актуальними [47].

Наприклад, важливою проблемою є забруднення повітря. Тому у китайських мегаполісах навіть стоять камери із киснем, щоб людина могла "нормально" дихати. Для подолання цієї проблеми потрібно скоротити викиди вуглекислого газу, покращити систему фільтрації повітря, підтримувати акції з посадки дерев.

Щоб подолати проблему забруднення смогом потрібно зменшити викиди заводів, тобто покращити систему фільтрації повітря та спонукати до переходу на більш екологічне обладнання.

Для подолання проблеми забруднення вуглекислим газом слід зменшити викиди від машин, а також зменшити використання теплових електростанцій, тобто перейти на "зелені" або відновлювані джерела енергії.

Проблема сміття є "видимою": люди стикаються із нею щодня і саме тому вона їх турбує найбільше. Щоб побороти її потрібно налагодити мережі вивозу сміття та донести до свідомості людей, що смітити – це неправильно. Важливо розширити спектр продукції з переробленого сміття.

Загальносвітове споживання енергоресурсів із 1980 до 2008-го року, за оцінками Міжнародного енергетичного агентства, збільшилося майже наполовину. За прогнозами, до 2030 року воно зросте ще на 65 – 70 %. Причому країни із ринковою економікою (насамперед Китай, Індія, Росія, Бразилія та Мексика) найбільш швидкими темпами нарощують енергоспоживання. Але вже не перше десятиліття його комплексна ефективність, тобто сукупні обсяги втрат енергопродуктів у процесі видобування, використання та забруднення біосфери в розрахунку на одиницю споживаного енергосировини, – мінімальна саме в цих країнах. Комплексна ефективність енергоспоживання в індустріально розвинених країнах (Південна Корея, Тайвань, Малайзія, Сінгапур, Бруней) утричі більше, ніж у Росії, Індії та Китаї. До того ж ті самі три країни за темпами впровадження природо- та ресурсозберігаючих технологій в енергетиці та суміжних галузях суттєво відстають не тільки від індустріально розвинених, але й від багатьох країн, що розвиваються. Зокрема від Бразилії, яка ще в середині 1970-х років налагодила промислове виробництво альтернативних видів палива з рослинної сировини.

Енергозбереження сьогодні є одним із пріоритетних напрямів політики й компаній, орієнтованих на динамічний розвиток, як у плані зниження витрат на власне виробництво основної продукції, так і зниження навантажень на потужності із виробництва енергоресурсів (рис. 10.3).





Рисунок 10.3 – Технології енергозбереження

Енергозбереження є одним із найважливіших завдань для будь-якого підприємства, яке особливо гостро постало перед підприємствами зараз, у період економічної кризи.

Ціни на енергоносії, що постачають централізовано, постійно зростають. У собівартості кінцевої продукції промислових підприємств висока частка витрат на теплову й електричну енергію (у 1,5 – 2 рази вище, ніж у промислово розвинених країнах), що негативно позначено на конкурентоспроможності товарів та обладнання, виробленого на вітчизняному виробництві. Ефективне енергозбереження дозволяє значно знизити собівартість продукції та як наслідок підвищити її конкурентоспроможність на ринках.

Однак слід зазначити, що енергозберігаючі технології недостатньо застосовують на підприємствах. Хоча тут сховано ефективний інструмент із підвищення ефективності діяльності будь-якого підприємства, який можна використовувати, із метою підвищення обсягу оборотних коштів і зниження виробничих витрат, вивільняючи, таким чином, додаткові кошти, які можна інвестувати в розвиток компанії. Адже й сама криза на виробничих підприємствах, яка почалася задовго до нинішньої економічної кризи, серед інших пов'язано також із тим, що енергозбереженню на більшості промислових підприємств не приділяють належної уваги. Основною причиною цього є, крім загального технічного стану та низької енергетичної ефективності наявного на підприємствах обладнання, той факт, що більшість промислових підприємств було спроектовано та побудовано в розрахунку на використання практично безкоштовної електричної та теплової енергії, що мало місце за часів централізованого планування економіки країни. Але ринкова економіка диктує свої умови, тому зниження собівартості продукції підприємства безпосередньо залежить від його енергоефективності.

Є велика кількість різноманітних методів підвищення раціонального використання наявних енергетичних ресурсів і потужності. І чим раніше підприємство почне впроваджувати енергозберігаючі технології, тим швидше воно відчує позитивний ефект від цих заходів, який буде обчислено в конкретних фінансових показниках.

Енергозберігаючі технології

Енергозбереження сьогодні є одним із пріоритетних напрямів політики й компаній, які орієнтовані на динамічний розвиток, як в плані

зниження витрат на власне виробництво основної продукції, так і на зниження навантажень на потужності з виробництва енергоресурсів.

Ефективне енергозбереження дозволяє значно зменшити собівартість продукції та, як наслідок, підвищити її конкурентоспроможність на ринках.

Енергозбереження – новий виток у технологічному розвитку, а також абсолютна необхідність за сучасних цін на енергоносії й екологічних вимог, що постійно посилюють. У структурі операційних витрат типової комерційного будівлі, витрати на енергію становлять близько 30 %, а на деяких підприємствах: металургійної, хімічної, нафтопереробної промисловості – частка енергії у вартості продукту може досягати 60 %. Тому правильно розроблений комплекс заходів із енергозбереження може значно скоротити витрати й оптимізувати бюджет.

Енергозбереження – екологічне завдання щодо збереження природних ресурсів та зменшення забруднення навколишнього середовища викидами продуктів та економічне завдання щодо зниження собівартості товарів та послуг. Актуальність енергозбереження зростає у всіх країнах, особливо в небагатих своїми енергоресурсами, у зв'язку із випереджаючим зростанням цін на традиційні види енергоресурсів та поступовим виснаженням їх світових запасів.

Енергозбереження – це зменшення використання енергії шляхом використання меншої кількості енергетичних послуг. Енергоощадність відрізняється від енергоефективності, яка стосується використання меншої кількості енергії за ту саму послугу. Наприклад, менше користуватись автомобілем – це заощадження енергії, а користуватися автомобілем із меншою витратою палива, або електромобілем – це енергоефективно. При цьому і енергоощадність, і енергоефективність є підходами зменшення використання енергії.

Проблема енергозбереження тісно переплітається із проблемами енергетики, екології, технічного переозброєння та структурної перебудови всієї економіки. Важливість енергозбереження підтверджується статусом державної політики і державними органами в усіх високорозвинутих країнах. Майже всі розвинуті країни світу прийняли відповідні законодавчі акти та створили як загальнодержавні, так і регіональні органи із управління енергозбереженням. Тому енергозбереження є важливою складовою політики кожної країни.

На енергію витрачається багато коштів і це негативно впливає на собівартість продукції. Отже, енергозбереження дозволить зменшити собівартість продукції та підвищити її конкурентоспроможність. Правильно розроблений комплекс заходів із енергозбереження може значно скоротити витрати та оптимізувати бюджет.

Основним напрямом розвитку світової енергетики є використання таких альтернативних поновлюваних джерел енергії, як енергія сонця, вітру, води, біопаливо. Тому енергозберігаючі технології в Україні застосовують сонячні батареї, вітрову енергію, теплові насоси, озеленення дахів з метою збереження тепла тощо.

Для України також актуальними є використання відходів агропромислового комплексу, пелет (біопаливо), а також переоснащення газових котлів. Зараз частка поновлюваних джерел у структурі вироблення енергії становить 14,0 %. Водночас найбільша частка продовжує залишатися за біопаливом, а найбільший приріст показують сонячна енергетика в середньому зростання на 37,3 % щорічно, вітрова енергетика (23,6 %), біогаз (12,3 %). Безперечними лідерами із використання такої енергії є скандинавські країни, де частка альтернативної енергії доходить до 70 %.

Учені постійно шукають нові можливості для підвищення к. к. д. і використання нових більш дешевих матеріалів для відновлюваних джерел енергії. Наприклад, не так давно вчені з Китаю змогли збільшити ефективність органічних сонячних батарей, прирівнявши їх до звичайних. Модулі, створені з вуглецю і пластмаси набагато дешевше звичайних кремнієвих, а завдяки структурі їх можна наносити на тонкі та гнучкі поверхні, на вікна, фасади, колони, дерева тощо. Але не слід забувати, що дешевша й екологічна енергія це добре, але енергоефективність усередині об’єкта нерухомості важлива не менше, а може навіть більше.

На 4 основні системи – освітлення, опалення, кондиціонування і вентиляції, а також водопостачання припадає 74 % від загального енергоспоживання. Які ж технології можна використовувати для скорочення цієї статті витрат?

Опалення. Експерти стверджують, що найбільше тепла втрачається через вікна і стіни, тому утеплення фасадів і заміна вікон на енергозберігаючі є першочерговою умовою зниження втрат тепла будь-якої комерційної будівлі. Наступним моментом є модернізація самої

системи опалення. Сучасні технології дозволяють модернізувати вже наявні котли й переобладнати їх із газового на органічне паливо. Також професіонали галузі рекомендують використовувати залишковий потенціал технологічних теплоносіїв. Тобто установлення систем рекуперації, конденсатовідвідників, вторинного використання розігрітої води допоможе значно поліпшити енергоефективність будівлі.

Узагальнено заходи щодо забезпечення економії тепла шляхом зниження втрат тепла та підвищенню ефективності систем теплопостачання наведено нижче.

Джерело теплопостачання:

- зменшення витрат енергії та тепла на власні потреби;
- використання сучасного обладнання із вищим к. к. д. теплогенерації, наприклад, конденсаційні котли, теплові насоси;
- використання вузлів обліку теплової енергії.

Теплові мережі:

- ізоляція мереж для зниження втрат тепла у довкілля;
- скорочення шляху теплоносія від виробника до споживача теплової енергії (наприклад, міні-котельня у будинку);
- оптимізація гідравлічних режимів тепломереж;
- зменшення протікань.

Споживачі:

- належна ізоляція опалюваних приміщень;
- використання систем місцевого регулювання опалювальних приладів;
- переведення будинків до режиму нульового споживання тепла для опалення (температура всередині підтримується шляхом внутрішнього тепловиділення (рекуперація) та гарної ізоляції (вікна із аерогелем));
- використання вузлів обліку теплової енергії.

Важливим чинником енергозбереження є економія газу, це

- підбір оптимальної потужності котла та насосу (наприклад, якщо є пікове, але нечасте, навантаження, можливо краще замість одного придбати два котли меншої потужності, один із яких працюватиме постійно, а другий включатиметься за потреби);
- належна теплоізоляція опалюваних приміщень, ефективні радіатори;

- використання на газових плитах посуду із широким плоским дном, підігрів лише необхідної кількості їжі та води;
- за можливості перехід на альтернативне опалення (наприклад, котли на біомасі, сонячні колектори, теплові насоси тощо);
- правильне використання будівельної ізоляції.

Освітлення. Майже 20 % світового енергоспоживання припадає на освітлення. Стало вже нормою, що заміна ламп розжарювання на LED-освітлення може забезпечити економію у 5 – 7 разів. Незважаючи на відносну дорожнечу, порівняно із лампами розжарювання, термін служби таких елементів освітлення в 7 – 10 разів більше. Із недоліків LED-освітлення найбільшим є вміст ртуті. Це означає, що потрібно заздалегідь подбати щодо правильної утилізації ламп.

Можна досягти економії електроенергії також завдяки оптимальному вибору потужності електроприводу (електродвигуна) та використанню частотнорегульованого приводу.

Наступним етапом скорочення витрат на освітлення може стати:

- максимальне використання денного світла (збільшення кількості, площі та прозорості вікон);
- оптимальне розміщення джерел штучного світла (місцеве, направлене освітлення);
- збільшення відбивної здатності (світлі стіни та стелі);
- оптимальне розміщення джерел штучного світла (місцеве, направлене освітлення);
- використання освітлювальних приладів лише за необхідністю;
- підвищення світловіддачі наявних джерел світла (заміна люстр, відбивачів тощо);
- використання приладів управління освітленістю (установлення датчиків освітлення та руху, таймерів, застосування дистанційного керування, регуляторів яскравості тощо);
- запровадження автоматичної системи диспетчерського керування зовнішнім освітленням;
- установлення інтелектуальних розподілених систем управління освітленням.

Отже, завдяки використанню різних датчиків, можна автоматично регулювати яскравість освітлення, вимикати світло, коли люди виходять із приміщення. У деяких випадках це може заощадити ще 20 %.

Кондиціонування та вентиляція. Найбільш поширеним методом зниження витрат під час використання цього обладнання, є установлення систем рекуперації. Правильне налаштування та своєчасне обслуговування можуть скоротити витрати до 10 %. Такі системи краще проектувати під час будівництва, проте, нерідкі випадки, коли модернізацію доводиться здійснювати у "старих" будівлях, і тут важливо звернутися до досвідчених проектантів, які допоможуть правильно розрахувати всі показники, і встановити систему проектування найбільш оптимальним способом.

Водопостачання. Однією із популярних технологій економії на водопостачанні є збирання та очищення дощової води для подальшого використання в будівлі. Звичайно, вона актуальна тільки в широтах, де дощі трапляються достатньо часто, а взимку не буває мінусової температури. Для більшості розвинених країн актуальними є автоматизовані датчики подавання води, використання залишкового потенціалу теплоносіїв для підігрівання води. В узагальненому вигляді економію води можна досягти шляхом:

- встановлення приладів обліку використання води;
- використання води лише коли це дійсно необхідно;
- встановлення зливних бачків, які мають функцію вибору сили зливу;
- встановлення автоматичних регуляторів витрат води, аераторів, сенсорних датчиків.

Усі перелічені раніше методи і технології можна застосовувати як окремо, так і в комплексі. Тут важливий індивідуальний підхід, попереднє вивчення всіх особливостей об’єкта, інфраструктури і систем, здійснення енергетичного аудиту для виявлення найбільш уразливих місць.

10.4. Теплозбереження та ресурсозбереження в побуті

Встановлено, що застосування якісної теплоізоляції під час будівництва нових будівель, а також реконструкції вже наявних будівель, крім економії енергії, збільшує капіталізацію економіки загалом.

Повсюдно в житлових будинках у тамбурах, на сходових майданчиках і сходових прогонах, на біля квартирних майданчиках світильники працюють від 12 до 24 год на добу. А скільки часу проводять у цих

приміщеннях люди, яким, власне, і необхідно освітлення? Очевидно, що зовсім небагато. Заходи із енерго- та ресурсозбереження полягають у використанні енергозберігаючих світильників і вимикачів, коли освітлення гарантовано подають в потрібне місце і в потрібний момент часу в повному обсязі, максимально задовольняючи вимоги комфортності та безпеки, відповідно до усіх наявних нормативних документів і практичних вимог. Пристрої ефективно "передбачають" появу людини за голосом, шуму кроків, повороту ключа, відмиканню дверей, стуку тощо. Людина завжди входить в уже освітлене приміщення (рис. 10.4).



Рисунок 10.4 – Енергозберігаючі технології у побуті

Спеціальні паливні гранули, енергозберігаючі лампи, "розумні будинки", біоенергетика, сонячні батареї та вітряки – усе це із серії енергозберігаючих альтернатив. Однак будь-яке переоснащення потребує чималих укладень. Тому важливо завжди прорахувати передбачуваний ефект, і тільки після цього впроваджувати новації.

Учені пропонують цілий ряд цікавих методик, зокрема із використанням кам'яних теплових акумуляторів, убудованих у стіни будівель. Вони не тільки зберігають тепло, але й перерозподіляють його, у результаті частину пікового навантаження зміщують на нічний час, що дає відчутну економію. Можна використовувати насоси із перерозподілу теплого повітря від більш нагрітих тіл до менш нагрітих. У межах цієї

закордонної методики пропонують заміну центрального опалення на автономне і що квартирне.

Пропонують і новий спосіб передавання електрики однопровідною лінією із використанням перетворювача напруги. Для цього розроблено цілком конкурентне обладнання за безконтактною діагностикою інженерних мереж, зокрема пірометри і тепловізори. Ці прилади здатні за кілька хвилин визначити місце витоку тепла, води, пошкодження труби або кабелю. До того ж не треба перекопувати територію в пошуках аварійної ділянки. Уведена в експлуатацію унікальна кліматична камера для проведення комплексних випробувань зовнішніх огороджень конструкцій будівель. Вона дозволяє перевірити їхні теплозахисні властивості, випробувавши фрагменти зовнішніх стін у натуральну величину.

Для забезпечення зростаючих енергетичних потреб економіки здійснюється безперервний пошук таких альтернативних джерел енергії, як гідро-, сонячної, вітрової, атомної, геотермальної тощо. Розробляють нові енергозберігаючі технології. Технології, що дозволяють практично використовувати нові – альтернативні, поновлювані – джерела енергії, виникли в 1970-х роках, за часів нафтової кризи. Ідея використання сонячної енергії виникли давно, але лише в роки кризи було створено пристрої, що дозволяють утілити її в життя. Основна перешкода – це вартість пристрою. Однак для сільських районів – це гарне розв'язання проблеми, оскільки виключає необхідність у прокладанні силових кабелів.

Зараз технології використання сонячної енергії отримують значний розвиток. Наприклад, ще в 2007 р. недалеко від Севільї (Іспанія) запущено електростанцію, що працює на сонячній енергії, та забезпечує електроенергією 6000 будинків. Зараз побудовано мережу таких електростанцій, що виробляють 300 МВт і забезпечують приблизно 200000 будинків.

Значний інтерес до великих вітряних турбогенераторам виник ще в 1970-х рр. Серед основних країн, що використовують зараз енергію вітру, – Німеччина, США, Данія, Іспанія, Індія, Китай.

У 1970-х рр. альтернативою викопному паливу серйозно стали розглядати ядерну енергію. Відносно недороге паливо врівноважує інвестиції, необхідні для будівництва ядерних електростанцій. У результаті електрика стала дешевшою.

Зараз серед основних енергоресурсів є нафта і газ, тобто вуглеводнева сировина. Однак у період очікування можливості всесвітнього потепління, людство змушене звернутися до екологічно чистих джерел енергії. Складність проблеми відмови від нафтопродуктів як джерела енергії, що забруднює навколишнє середовище, дефіцитного й коштовного, пов'язано із тим, що галузі, які охоплюють індустрії нафто переробних заводів і транспортних засобів, є системо-утворювальними для всієї світової економіки. Військова техніка, транспорт, теплоелектростанції, обладнання на заводах, системи опалення – усе це в сучасному суспільстві значною мірою працює на нафті та газі. Відмова від нафтопродуктів потребує перетворення індустріальної структури держав, що є одним із головних гальм розвитку альтернативних джерел енергії.

Однак проблеми із вуглеводневим паливом постійно змушують займатися розв'язанням цієї проблеми. Так, автомашини, що працюють на водні, на біопаливі, електромобілі – уже не рідкість.

Нові ідеї з використання альтернативних джерел енергії безперервно пропонуються та розробляються, вони "літають у повітрі".

Людство мобілізується та наближається до розв'язання проблеми створення і промислового використання нових енерго- та ресурсозберігаючих технологій.

10.5. Заміна основних ресурсів на біопаливо

Зараз головним завданням є зниження залежності не лише від газу, а й від нафтопродуктів [51]. У цьому допомагає біопаливо. Біопаливо, або біологічне паливо, – це органічні матеріали: деревина, відходи і спирти, які використовують для виробництва енергії. Це поновлюване джерело енергії, на відміну від таких інших природних ресурсів, як нафта, вугілля та ядерне паливо. Офіційне визначення *біопалива* – це будь-яке паливо, яке містить (за обсягом) не менш ніж 80 % матеріалів, здобутих від живих організмів, зібраних у межах десяти років перед виробництвом.

Подібно до вугілля і нафти, *біомаса* – це форма збереженої сонячної енергії. Енергія сонця "захоплюється" через процес фотосинтезу під час росту рослин. Одна перевага біологічного палива, порівняно з іншими типами палива, – це те, що воно повністю розкладається мікроорганізмами, і тому відносно безпечне для довкілля.

Сільськогосподарська продукція, яку вирощують для виробництва біопалива: кукурудза та соя (більше у США), льон і ріпак (більше у Європі), цукрова тростина у Бразилії та пальмова олія в Південно-Східній Азії. Розкладена мікроорганізмами продукція промисловості, сільського господарства, лісового господарства та побутові відходи також можна використовувати для отримання біоенергії, наприклад, солому, лісоматеріал, добриво, рисове лушпиння, стічні води і залишки продуктів харчування. Ці продукти перетворюють на біогаз шляхом анаеробного травлення. Біомаса, яку використовують як паливо, також часто складається із такої недовикористаної продукції, як солома і відходи тваринництва. Тому розглянемо історію біопалива.

Як біопаливо першими почали використовувати традиційні сільськогосподарські культури із високим вмістом жирів, крохмалю, вуглеводів. Рослинні жири добре піддаються перетворенню на біодизель. Однак, здебільшого джерела сировини відносяться до продуктової групи, що викликає хвилю критики, оскільки виробництво біопалива скорочує кількість продуктів і викликає зростання їх вартості.

Рослинні крохмаль і цукри переробляють на етанол. Однак використання таких сировин виявилося вкрай незручним: крім витратного землекористування, виснаженням ґрунтів і потребами у їхній обробці, додаванні добрив і пестицидів виникають відповідні проблеми із реалізації харчових продуктів на ринку. Таку сировину зараховують до *біопалива першого покоління*.

Біопаливо другого покоління – це різні види палива, виготовленого методами піролізу біомаси, а також інші види палива (крім метанолу, етанолу, біодизелю), виготовлені із джерел сировини "другого покоління". Біомаса складається із нехарчових або залишкових частин рослин: лушпиння, листя, стебла, а також деревна стружка, м’якоть овочів і фруктів, що залишається після віджимання соку тощо. Сучасні технології дозволяють отримати корисну сировину із волокнистої або деревної біомаси, в яких міститься лігнін або цукор, із яких надалі отримують біопаливо. Джерелами сировини для біопалива другого покоління є лігнітцелюлозні сполуки, які залишаються після виділення придатної для використання в харчовій промисловості біологічної сировини. Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати та використовувати. Із рідини можна виготовляти автомобільне паливо або паливо для електростанцій.

За оцінками Німецького енергетичного агентства (Deutsche Energie-Agentur GmbH), за наявних технологій виробництво палива шляхом піролізу біомаси може покрити 20 % потреб Німеччини в автомобільному паливі. До 2030 р. із розвитком технологій піроліз біомаси може забезпечити 35 % від споживання автомобільного палива. Собівартість виробництва становить менше ніж €0,80 за літр палива.

Достатньо перспективним є також використання рідких продуктів піролізу деревини хвойних. Наприклад, суміш із 70 % живичного скипидару, 25 % метанолу і 5 % ацетону, тобто фракцій сухої перегонки смолистої деревини сосни, із успіхом можна застосовувати для заміни бензину марки А-80. Водночас, для перегонки застосовують відходи дереводобувних процесів: сучки, пеньки, кора. Вихід паливних фракцій становить до 100 кілограмів із 1 т відходів. Основні недоліки сировини другого покоління – це задіяні земельні ресурси та відносно невисока віддача із одиниці площі.

Біопаливо третього покоління – це перспективна технологія, що дозволяє отримувати дешеве біопаливо після переробки водоростей. Водорості – це високопродуктивна і одночасно дешева сировина. Із одного гектара водоростей можна отримати в 30 разів більше енергії, ніж із одного гектара сої (рис. 10.5).



Рисунок 10.5 – Біопаливо із водоростей

Департамент енергетики США із 1978 до 1996-го рр. досліджував водорості із високим вмістом олії за програмою Aquatic Species Program. Установлено, що 200 тис. га ставків можуть виробляти паливо,

якого буде достатньо для річного споживання 5 % автомобілів США. Причому, 200 тис. га – це менше ніж 0,1 % земель США, придатних для вирощування водоростей. Однак у цій технології ще залишаються актуальними безліч проблем. Наприклад, водорості потребують високої температури, для їхнього культивування краще підходить пустельний клімат, але також потрібна певна температурна регуляція за нічних перепадів температур. У кінці 1990-х років ця технологія не потрапила у промислове виробництво через низьку вартість нафти. Крім вирощування водоростей у відкритих ставках, є технології вирощування водоростей у малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій.

Біопаливо у світі. Світовими лідерами із використання рідкого біопалива є Бразилія, США та країни ЄС. Щоб не залежати від імпорту нафти, Бразилія використовує етанол із дешевої цукрової тростини. У США, щоб підтримати аграрний сектор усередині країни, та одночасно поліпшити стан довкілля, поширюється етанол із кукурудзи. Європейський Союз, упроваджуючи біопаливні технології, відразу вирішує декілька цілей: ліквідацію залежності від імпорту нафти, запобігання глобальному потеплінню клімату, виконання зобов'язань за Кіотським протоколом щодо викидів діоксину вуглецю в атмосферу, а також розвиток аграрного сектору. У США автомобільне біопаливо займає 5 % ринку, у Бразилії – близько 30 %. У Бразилії продають автомобілі, які можуть їздити на суміші етанолу і бензину в будь-якій пропорції. Із 2011 р. у ЄС виробники або продавці зобов'язані додавати в бензин до 5 % етанолу, а бензин марки Е10 (10 % етанолу) продають на усіх автозаправних станціях Німеччини. Станом на квітень 2011 р. в Німеччині налічували понад 350 автозаправних станцій, які реалізують Е85. У 2019 р. Etihad Airways, національна авіакомпанія ОАЕ, рапортувала про перший комерційний переліт на біопаливі, здобутому із рослин.

Біопаливо в Україні. Біопаливо розглядають в Україні як вагому альтернативу традиційному пальному. Уважають, що його виготовлення найближчими роками буде максимально вигідним для української економіки. Виготовлення готового продукту є набагато вигіднішим для України, ніж експорт сировини, здебільшого в Польщу та Німеччину. Широкі можливості у використанні біоенергетики мають різні регіони України. На півночі – це торф, відходи деревообробки, енергетичні рослини. На сході та півдні – солома, лушпиння соняшника. Є можливість по всій Україні виробляти біогаз. На тлі різкого подорожчання нафти і

газу та, відповідно, продуктів їхнього перероблення, перспектива переведення підприємств країни на споживання альтернативного пального починають реалізовувати.

Запитання для самостійного контролю

1. Яке значення мають матеріальні ресурси в життєдіяльності людини?
2. Як оцінити використання матеріальних ресурсів?
3. Дайте визначення поняттям трудомісткості, матеріаломісткості, фондомісткості, капіталомісткості виробленого продукту або досягнутого ефекту.
4. Обґрунтуйте шляхи ресурсозбереження у промисловості.
5. Назвіть основні чинники та напрями економії ресурсів.
6. Обґрунтуйте значення технологій у ресурсозбереженні. Які інженерні методи економії ресурсів ви знаєте?
7. Назвіть основні принципи створення нових технологій.
8. Які основні поняття ресурсозберігаючих і енергозберігаючих технологій ви знаєте?
9. Що означає ідеальний ресурсозберігаючий процес?
10. У чому полягає сутність енергозбереження?
11. Наведіть приклади енергозберігаючих технологій?
12. Якими шляхами можна досягти енергозбереження в системах опалення, освітлення, кондиціонування, вентиляції та водопостачання?
13. Наведіть приклади теплозбереження та ресурсозбереження в побуті.
14. Назвіть альтернативні поновлювачі джерел енергії.
15. Назвіть основні енергоресурси.
16. Наведіть приклади інноваційних технологій теплозбереження та ресурсозбереження.
17. У чому полягає заміна основних ресурсів на біопаливо?
18. Надайте визначення біопалива та біомаси.
19. Що належить до біопалив першого, другого та третього поколінь?
20. Назвіть види біопалива, які застосовують у різних країнах світу та в Україні.

Література: [23, 38, 47, 51, 66, 114, 115].

Розділ 11. Ергономічні та екологічні чинники сучасних технологій

11.1. Основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології

Сучасні технології, поряд із забезпеченням високих показників продуктивності праці, якості та собівартості виготовленої продукції, одночасно повинні забезпечувати і високі показники ергономіки та екології, тобто показники безпеки життєдіяльності. Однак, це не завжди досягається. Основними недоліками сучасних технологій із точки зору ергономіки є: недопустимі параметри мікроклімату робочої зони (температури, відносної вологості і швидкості руху повітря тощо), підвищена запиленість, загазованість повітря, підвищений рівень вібрації і шуму, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, недостатня або надмірна освітленість робочої зони, наявність підвищеної напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини. Отже, до техногенних небезпек відносять небезпеки, що виникають у процесі порушення технологій виробництва (людський чинник). Попередження техногенних небезпек можливо заходами, спрямованими на удосконалення техніки і технологій [24, 65, 79, 102, 120, 140].

Основними недоліками сучасних технологій із точки зору екології є те, що до половини деяких мінеральних добрив, які вносяться у землю для підвищення врожайності культур, осідає в біосфері, завдаючи їй шкоди; невміле застосування хімічних препаратів-отрутохімікатів приводить до накопичення їх у ґрунті та уповільнення зростання рослин (сільськогосподарське виробництво); спалювання атмосферного кисню приводить до забруднення повітря (турбіни лайнера, автомобілі); руйнування озонового слою Землі (надзвукові літаки, ракети, ядерна зброя) та фреонів (холодильна промисловість тощо); забруднення Світового океану (морський транспорт, господарсько-побутові стоки тощо); викидання в атмосферу мільйонів тон шкідливих речовин (виробничі структури). Також на екологічну ситуацію значно впливають теплоенергетика, промисловість, нафто- і газо- переробка, все це забруднює атмосферу.













Виходячи із цього, основними цілями і завданнями ергономічних і екологічних вимог до сучасних технологій є: забезпечення безпеки життєдіяльності людини, найкраще розміщення знарядь і предметів праці, запобігання загального дискомфорту, зменшення стомлюваності працівника, підвищення його продуктивності праці, запобігання або мінімізація забруднення навколишнього середовища. Під час організації робочого місця доцільно виключити або мінімізувати всі фізіологічні неприродні і незручні положення тіла.

11.2. Сутність ергономіки

Структура будь-якої діяльності, крім суб'єкта та її процесу, охоплює засоби, предмет праці, умови її здійснення. Їх досліджували різні науки, а з накопиченням знань щодо трудової діяльності між ними почали виникати контакти, оскільки у всіх сферах життя психологічні компоненти невіддільні від фізіологічних, гігієнічних, соціальних тощо. Крім того, діяльність людини вивчають у взаємодії з функціонуванням обладнання у конкретному робочому середовищі. Тому на основі синтезу отриманих у різних галузях науки і практики знань виникла ергономіка.

Ергономіка – наука, яка вивчає різні предмети з якими контактує людина в процесі її життєдіяльності [66].

Ергономіка – науково практична дисципліна, яка комплексно вивчає трудову діяльність людини в системі "людина – техніка – середовище" (ЛТС) для забезпечення її ефективності, безпеки і комфортності. Іншими словами, ергономіка – це науково прикладна дисципліна, яка вивчає (з точки зору психології, фізіології, гігієни праці та інших наук) людину в конкретних умовах її діяльності з використання технічних засобів (рис. 11.1 – рис. 11.4).

Мета цієї науки полягає у вивченні властивостей та можливостей людини у процесі трудової діяльності у певному трудовому середовищі для створення таких умов, методів і форм праці, які сприяли б продуктивній, прогнозованій, безпечній для здоров'я людини праці та забезпечували всебічний розвиток особистості.

Слід зазначити, що *першою і головною метою ергономіки* є підвищення ефективності системи ЛТС, що обумовлюється здатністю досягати поставленої мети у визначених параметрах і з відповідною якістю.



Рисунок 11.1 – Ергономіка робочого місця

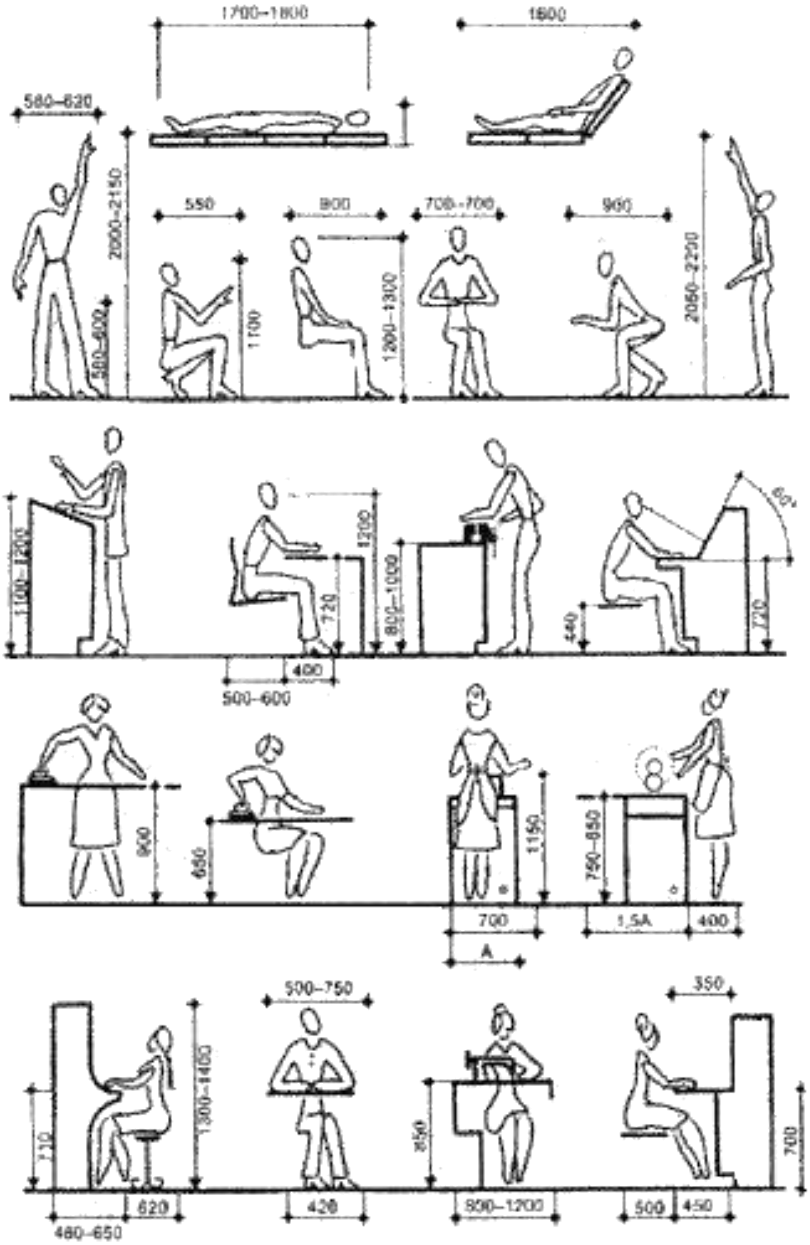


Рисунок 11.2 – Ергономіка. Простір, що займає людина у процесі праці і відпочинку. Схеми



Рисунок 11.3 – Ергономіка і здоров'я людини



Рисунок 11. 4 – Ергономіка квартири. Ергономіка у сфері дизайну проектування

Безпека праці (охорона здоров'я людей) є *другою метою ергономіки*. Охорона праці регламентується низкою правових норм, які встановлюють систему заходів, що спрямовані на забезпечення належних і безпечних умов праці. Проте, статистичні дані свідчать, що серед причин тяжких нещасних випадків 22 % – це порушення технологічних процесів самими робітниками, 19 % – грубе порушення правил безпеки життєдіяльності потерпілими.

Забезпечення умов для розвитку особистості людини в процесі праці – *третя мета ергономіки*. Для її досягнення необхідне органічне сполучення фізичної та розумової праці, а саме:

- послідовна інтелектуальна насиченість праці на основі досягнень науково-технічного прогресу;
- неухильне підвищення загальноосвітньої і професійної підготовки всіх працівників;
- створення оптимальних умов щодо сполучення професійної праці з технічною творчістю.

Виходячи із мети ергономіки визначають її основні теоретичні завдання:

- розроблення системи основних і похідних понять ергономіки і теоретичних концепцій для ергономічного проектування;
- забезпечення створення та експлуатації продуктивних і в той же час гуманних, зручних технічних систем, технологічних процесів, виробів;
- розроблення системи методів ергономічного дослідження й проектування, ергономічного оцінювання існуючих і нових форм механізованої та автоматизованої праці.

Ухвалення тези щодо триєдиного характеру головної мети ергономіки дозволяє уникнути відриву ергономічних досліджень від конкретних завдань розвитку виробництва. Таким чином, завдання ергономіки – розробити таку форму предметів і передбачити таку систему взаємодії з ними, які були б максимально зручними для людини під час їх використання.

Об'єктом дослідження ергономіки є система "людина – машина – середовище" [149, 157]. Ергономіка розглядає цю систему як складну систему, в якій провідна роль належить людині. Тобто досліджуються взаємозв'язки людини із предметним світом у процесі трудової або іншої діяльності. Однак, можуть розглядатися й інші системи, наприклад, система взаємодії людини у колективі.

Предметом дослідження ергономіки є конкретна трудова діяльність людини, яка використовує технічні засоби. Предметом наукового дослідження ергономіки є не тільки техніка сама собою і не людина як суб'єкт виробництва, а узгодження психічних, фізичних можливостей, естетичних смаків людини з конструкторськими особливостями техніки.

Ергономічні вимоги мають дві цілі свого дослідження, що тісно переплітаються:

- підвищення ефективності виробництва;
- створення для людини кращих умов праці.

Є й інші визначення поняття ергономіки та її компонентів. Для більш глибокого розуміння цього поняття розглянемо такі визначення.

Ергономіка – це наука, яка комплексно вивчає особливості виробничої діяльності людини в системі "людина – техніка – довкілля" задля уможливлення її ефективності, безпеки та комфорту. Наука щодо пристосування посадових обов'язків, робочих місць, предметів і об'єктів праці, а також комп'ютерних програм для найбільш безпечної та ефективної праці працівника, виходячи із фізичних і психічних особливостей людського організму. Ергономіка вивчає діяльність людини в умовах сучасного виробництва із метою оптимізації знарядь і процесу праці та забезпечення необхідних зручностей для людини.

Ергономіка – це наука, що займається комплексним вивченням і проектуванням трудової діяльності для вдосконалення знарядь і умов праці та підвищення рівня професійної майстерності.

Предметом ергономіки як науки є вивчення системних взаємозв'язків людини із технічними засобами, об'єктом діяльності та середовищем у процесі життєдіяльності.

Завданням ергономіки як сфери практичної діяльності є проектування і вдосконалення процесів виконання діяльності, а також тих характеристик засобів та умов, що безпосередньо впливають на ефективність, якість діяльності та психофізіологічний стан людини.

Ергономіка виконує такі функції:

- вивчає характеристики людини, машини і середовища, які мають місце в умовах їх взаємозв'язку;
- розробляє методи урахування цих чинників під час модернізації діючої і створення нової техніки і технології;
- вивчає проблеми доцільного розподілу функцій між людиною та машиною;
- визначає критерії оптимізації системи "людина – машина – середовище" (СЛМС) із урахуванням можливостей і особливостей працюючої людини, специфіки експлуатації технічних систем і чинників довкілля.

Оцінювання технічних засобів і технологій здійснюється такими ергономічними характеристиками людини:

- антропометричними характеристиками людини (розміри тіла та окремих його частин в різних робочих позах і положеннях, динаміка

змін розмірів тіла під час переміщення всього тіла або його частин в просторі, форма частин тіла тощо);

- характеристиками рухової активності людини (сила, швидкість, економічність та обсяг виконавчих рухів);
- можливостями і особливостями функціонування органів почуттів людини;
- особливостями сприйняття, пам'яті, мислення людини;
- впливом середовища на ефективність діяльності людини;
- необхідністю урахування в технології рівня професійної підготовки людини, що взаємодіє із цією технологією.

Ергономіка – це дисципліна науково-ужиткового характеру, яка займається вивченням та формуванням ефективних систем, що керуються людьми.

Мету ергономіки можна формулювати за різними ознаками, але загальний зміст залишиться один – узгодження конструкції машин та умов їх функціонування із психофізіологічними характеристиками працюючого. Щоб досягти зазначеної мети, необхідно вирішити достатньо різнопланові завдання ергономіки:

- вивчити особливості взаємодії техніки і людини у конкретних умовах;
- удосконалювати техніку та умови її функціонування під можливості людини;
- підвищувати трудову ефективність персоналу шляхом оптимізації робочих місць тощо.

Ці завдання дозволяє вирішити лише міждисциплінарний характер ергономіки та її зв'язок із такими науками, як психологія, фізіологія, екологія, антропологія тощо.

Ергономіка належить до групи наук некласичного типу, що об'єднують риси наукової дисципліни та засоби практичної діяльності. Вона взаємозалежна із усіма науками, предметом вивчення яких є трудова діяльність людини: інженерною психологією, психологією, фізіологією, гігієною, соціологією праці, безпекою праці тощо. Вона виникла на "стиках" наук щодо людини і покликана усунути порушення єдності оптимізації всіх компонентів діяльності, обумовлених безліччю дисциплінарних підходів до створення систем "людина – машина – середовище" (СЛМС). Тобто *ергономіка* – це галузь науково-прикладних дос-

ліджень, що знаходяться на стику технічних наук, психології і фізіології праці, в якій розробляються проблеми проектування, оцінювання та модернізації системи "людина – машина – середовище".

Сучасні виробництва і транспорт, які оснащені складними технічними системами, висувають до людини вимоги, що змушують її іноді працювати в екстремальних умовах і на межі психофізіологічних можливостей. Багато видів діяльності пов'язані із відповідальністю людини за ефективне та надійне функціонування складних систем. Різко збільшується ціна помилки людини під час проектування систем, а також у процесі їх використання у виробництві, на транспорті, у збройних силах (достатньо згадати Чорнобиль).

Поряд із діяльністю на межі людських можливостей, у сучасному виробництві стає усе більш розповсюдженим явищем недостатня рухова активність людини в процесі праці, що знижує працездатність і погіршує здоров'я працюючих. Багато працюючих (за деякими даними, більше половини) зараз попадають у групи підвищеного ризику виникнення хвороби суглобів, м'язів, хребта.

Ці хвороби розвиваються поступово, протягом багатьох місяців і навіть років у результаті постійної функціональної напруги визначеної частини тіла й тому називаються кумулятивними (тобто пов'язаними із накопиченням шкідливих впливів, травмами).

Процес створення продукції включає етапи розроблення технічного проекту, конструювання, створення і випробування дослідного зразка, розроблення технічної та технологічної документації, проведення державних випробувань і впровадження у виробництво. На кожному етапі вирішуються специфічні задачі, в тому числі, урахування людського чинника.

Система урахування особливостей людини під час розроблення людино-машинних комплексів називається *системою ергономічного забезпечення розробки та експлуатації*. Під системою ергономічного забезпечення прийнято розуміти сукупність методів і засобів, що використовують на всіх стадіях розробки, функціонування та компонентів і призначених для формування заданого рівня ергономічних властивостей, ергономічної якості системи шляхом обґрунтування та вибору організаційно-проектних рішень, що створюють оптимальні умови для високоефективної діяльності людини в усіх компонентах систем для

найшвидшого освоєння можливостей, які закладено в них, в тому числі, в автоматизованих системах та для постійного вдосконалення методів їх використання.

Ергономіка вивчає дії людини в процесі роботи, швидкість освоєння нової техніки, витрати її енергії, продуктивність та інтенсивність за конкретних видів діяльності. Вивчає особливості виробничої діяльності людини в системі "людина – техніка – довкілля" із метою забезпечення її ефективності.

Сучасну ергономіку поділяють на мікроергономіку, мідіергономіку та макроергономіку.

Мікроергономіка вивчає та проектує системи "людина – машина", наприклад, інтерфейси програмних продуктів.

Мідіергономіка зосереджена на вивченні та проектуванні систем "людина – колектив", "колектив – організація", "колектив – машина", "людина – соціальне середовище", дослідженні виробничих взаємодій на робочих місцях і виробничих завдань. Вона також покликана розробляти структуру організації та приміщень, укладати розклади робіт, правила гігієни і безпеки праці.

Макроергономіка займається дослідженням та проектуванням цілісних робочих систем загалом, зважаючи на всі зовнішні та внутрішні чинники: технічні, соціальні, організаційні. Метою макроергономіки є гармонійна, узгоджена, надійна робота всієї системи і всіх її компонентів.

Основним принципом ергономіки є принцип системності, який полягає у визначенні сукупності всіх компонентів трудової діяльності як цілісної системи.

Ергономіка розвивається на основі таких *специфічних принципів:*

- раціональної організації діяльності людей у людино-машинних системах управління та оброблення інформації;
- доцільності, який передбачає правильний розподіл функцій між людиною і технічним засобом;
- надійності, який забезпечує поліпшення функціонування системи шляхом підвищення точності та оперативності виробничих дій людини;
- оптимізації, що полягає в інформаційному забезпеченні та прийнятті адекватного рішення в системах управління;
- цілісності, який передбачає, що виробничу систему вивчають як єдине функціональне ціле.

Для повної характеристики ергономіки необхідно визначити ергономічні показники трудового процесу, які гарантують ефективність, безпеку і комфортність праці:

- антропометричні та біомеханічні (відповідність знарядь праці розмірам, формі тіла, силі робочих рухів);
- фізіологічні та психофізіологічні (відповідність трудових процесів швидкісним, енергетичним, зоровим і слуховим можливостям);
- психологічні (відповідність трудових процесів закріпленим і сформованим навичкам, можливостям сприйняття, пам'яті та мислення);
- гігієнічні (температура, фізико-хімічний склад повітря, освітлення, шуми та інші завади);
- естетичні (реалізуються в художньо-структурних оформленнях робочих місць, знарядь праці та виробничих середовищ).

Ергономіка поступово охоплює все більше галузей і перестає бути строго пов'язаною із виробничою діяльністю. У 2007 р. Міжнародна Ергономічна Асоціація (The International Ergonomics Association) визначила ергономіку сферою використання наукових знань щодо людини у проектуванні предметів, систем і навколишнього середовища.

11.3. Сутність екології

Отруйні гази та сполуки, що викидаються автотранспортом та підприємствами, потрапляючи у повітря і воду, завдають серйозної шкоди навколишньому середовищу, дикій природі а, отже, здоров'ю населення [147]. Незважаючи на те, що екологи вже давно намагаються боротися із забрудненням навколишнього середовища, до пошуку реальних рішень ще довгий шлях. Незворотні пошкодження вже не можна звести нанівець, але ми можемо зупинити подальше забруднення. Для цього, звичайно, все людство повинно об'єднатися. Слід ліквідувати забруднюючі речовини, використовувати альтернативні види палива, які не забруднюють повітря або живу природу. Також слід обмежити виробництво нерозкладаних матеріалів. Велика частка масового виробництва і масових товарів, придбаних споживчим товариством, потрапляє в смітник. Сміття знову завдає шкоди природі [47, 52].

Завдання екології мають такий же широкий спектр, як і різноманіття наукових напрямів, із яких вона складається. Умовно можна

виокремити такі узагальнюючі напрями завдань, вирішенням яких займається екологічна наука:

- науковий: вивчення законів і закономірностей взаємодії суспільства і природи; розроблення теоретико-методологічного і методичного апарату, із допомогою якого можна вирішувати конкретні практичні проблеми ліквідації негативних наслідків антропогенного впливу на природу;
- освітній: створення відповідного екологічного світозору і екологічної свідомості, виховання екологічної етики і культури людини, отримання конкретних екологічних знань у сфері своєї майбутньої професійної діяльності;
- практичний (прикладний):
- збереження життя на Землі, вирішення глобальних екологічних проблем людства, розроблення раціональних шляхів природокористування (у тому числі, в кожному напрямі діяльності людства – промисловості, сільському господарстві та інших галузях);
- розроблення конкретних методів охорони природи і захисту людини від негативних антропогенних і природних явищ;
- пошук нових і удосконалення старих технологій, виробництво екологічно чистих товарів і продуктів, утилізація відходів; розроблення методів контролю за станом навколишнього середовища, методів управління (у тому числі, прогнозування і планування) природозахисною діяльністю тощо.

Таким чином, коло практичних завдань екології можна деталізувати за їх практичною необхідністю. Існує велика кількість визначень поняття екологія та її компонентів. Тому для більш глибокого розуміння цього поняття розглянемо такі його визначення.

Екологія – це фундаментальна синтетична біологічна наука щодо взаємозв'язку між живими організмами і середовищем існування. Екологія досліджує фундаментальні властивості життя надорганізмового рівня організації (рис.11.3).

Основний предмет екології – вивчення в сукупності живих організмів, які взаємодіють між собою і утворюють із навколишнім середовищем єдину систему, в межах якої відбуваються процеси трансформації енергії та органічної речовини. Кожна наука вивчає певний рівень організації живої матерії: *генетика* – ген, *цитологія* – клітину, *гістологія* – тканини, *анатомія* – орган тощо.







Рисунок 11.3 – Екологія та охорона навколишнього середовища

Екологія – це міждисциплінарна наука, яка базується, крім біологічних основ, на основах географічних, технічних, економічних і соціальних наук.

Головні завдання екології:

- встановлення закономірностей взаємозв'язків між організмами, їхніми угрупованнями і умовами довкілля;
- дослідження структури та функціонування угруповань організмів; розроблення методів визначення екологічного стану природних і штучних угруповань;
- спостереження за змінами в окремих екосистемах і біосфері в цілому, прогнозування їхніх наслідків;
- створення бази даних та розроблення рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської і соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Екологія – це наука, яка вивчає відносини організмів (особин, популяцій тощо) між собою та з навколишньою неорганічною природою, загальні закони функціонування екосистем різного ієрархічного рівня, середовища мешкання живих істот (включаючи людину).

Посилення впливу людини на природу надає все більшої гостроти екологічним проблемам взаємодії людини і природи, людства і біосфери. Під екологічними показниками розуміють властивості, що характеризують здатність технології, виробу впливати на зовнішнє навколишнє середовище. Основним завданням і метою екологічних вимог є зменшення шкідливого впливу людини на навколишнє середовище.

Екологія – у науковому розумінні є розділом біології, що вивчає взаємовідношення живих істот та їх сукупностей між собою і з навколишнім середовищем, структурно-функціональні властивості екологічних систем, їхню історію формування, еволюцію, корисні для людини функції та можливості їх розумного використання.

Екологія – це наука, що вивчає закономірності відносин між організмами і довкіллям, а також організацію і діяльність надорганізмових систем (популяцій, видів, біоценозів, біосфери).

Виходячи із цього, предметом вивчення екології є структура та функціонування надорганізмових систем на рівні видів, популяцій, еко-

систем, біогеоценозів і біосфери. Сучасна екологія досліджує також дію цивілізаційних процесів на довкілля із метою запобігання негативних наслідків техногенної діяльності людини.

Екологія є базовою для виробничої діяльності всіх галузей економіки, які експлуатують природні ресурси і впливають на природне довкілля та умови життя людей. Екологія стала об'єктом зацікавлення не лише фахівців-екологів, але й демографів, економістів, медиків, політиків тощо.

Одним із найважливіших завдань екології є оптимізація взаємин між людиною, із одного боку, та окремими видами і популяціями, екосистемами – із другого боку. Під час проведення досліджень та реалізації практичних заходів в цьому напрямі важливим є урахування екологічної значущості та реальної господарської важливості кожного виду, популяції та екосистеми.

Серед завдань екології першочерговими слід вважати такі:

- вивчення загального стану сучасної біосфери, умов її формування та причин змін під впливом природних і антропогенних чинників;
- прогнозування динаміки стану біосфери в часі та просторі;
- збереження здатності біосфери до самоочищення, саморегулювання і самовідновлення;
- наукове обґрунтування раціональної експлуатації природних ресурсів, прогнозування змін природи внаслідок діяльності людини та управління біосферними процесами, а також збереження середовища мешкання людини;
- розроблення системи заходів, що забезпечують мінімальне застосування хімічних засобів боротьби із шкідливими видами;
- збереження (консервація) еталонних ділянок біосфери;
- розроблення технологічних, інженерних і проектно-конструкторських рішень, що мінімізують збитки, завдані навколишньому середовищу і здоров'ю людини.

До головних завдань екології також можна віднести завдання:

- встановлення закономірностей взаємозв’язків між організмами, їхніми угрупованнями та умовами довкілля;
- дослідження структури і функціонування угрупувань організмів;
- розроблення методів визначення екологічного стану природних і штучних угрупувань;

- спостереження за змінами в окремих екосистемах і біосфері в цілому, прогнозування їхніх наслідків;
- створення бази даних і розроблення рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської і соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів.

Метою екологічних вимог є встановлення таких гранично допустимих норм антропогенних впливів на навколишнє середовище під час здійснення господарської та іншої діяльності, які б гарантували забезпечення екологічної безпеки населення та збереження біорізноманіття, а також забезпечували раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Завданнями екологічних вимог в даному напрямі є забезпечення державного регулювання впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє середовище, що гарантує збереження сприятливого стану (сталого розвитку) навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки.

Екологічні вимоги розкриті у статті 51 Закону України "Про охорону навколишнього середовища": При проектуванні, розміщенні, будівництві, введенні в дію нових і реконструкції діючих підприємств, споруд та інших об'єктів, удосконаленні існуючих і впровадженні нових технологічних процесів та устаткування, а також в процесі експлуатації цих об'єктів забезпечується екологічна безпека людей, раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на навколишнє природне середовище. При цьому повинні передбачатися вловлювання, утилізація, знешкодження шкідливих речовин і відходів або повна їх ліквідація, виконання інших вимог щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей.

Підприємства, установи й організації, діяльність яких пов'язана із шкідливим впливом на навколишнє природне середовище, незалежно від часу введення їх у дію повинні бути обладнані спорудами, устаткуванням і пристроями для очищення викидів і скидів або їх знешкодження, зменшення впливу шкідливих чинників, а також необхідними приладами контролю за кількістю і складом забруднюючих речовин та за характеристиками шкідливих чинників (рис. 11.4, рис. 11.5).









Рисунок 11.4 – Природні явища та природа екології









Рисунок 11.5 – Екологія та сталість

Проекти господарської та іншої діяльності повинні мати матеріали щодо оцінювання її впливу на навколишнє природне середовище і здоров'я людей.

Оцінювання здійснюється із урахуванням вимог законодавства щодо охорони навколишнього природного середовища, екологічної ємкості даної території, стану навколишнього природного середовища в місці, де планується розміщення об'єктів, екологічних прогнозів, перспектив соціально-економічного розвитку регіону, потужності та видів сукупного впливу шкідливих факторів і об'єктів на навколишнє природне середовище.

Підприємства, установи та організації, які розміщують, проектують, будують, реконструюють, технічно переозброюють, вводять в дію підприємства, споруди та інші об'єкти, а також проводять дослідну діяльність, що за їх оцінкою може негативно вплинути на стан навколишнього природного середовища, подають центральному органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища, спеціальну заяву про це.

Забороняється введення в дію підприємств, споруд та інших об'єктів, на яких не забезпечено в повному обсязі додержання всіх екологічних вимог і виконання заходів, передбачених у проектах на будівництво та реконструкцію (розширення та технічне переоснащення).

11.4. Приклади забруднення Землі та заходи усунення забруднення

Основні види забруднення

1. Забруднення води. У водне середовище потрапляють такі шкідливі речовини, як нафта та її продукти розпаду, хімічні елементи із властивостями металів, радіоактивні ізотопи, сміття із каналізаційних систем і різні мінеральні солі для добрива. Попадання в воду хімічних речовин, сприяє утворенню ксенобіотиків, які небезпечні для людського і тваринного організмів.

2. Забруднення ґрунту. За останніми підрахунками 27 % ґрунту схильні до процесу ерозії. Під час попадання в землю токсичних речовин і великої кількості сміття, круговорот ґрунтових систем перестає протікати безперешкодно. На стан ґрунту впливають забудови будин-

ків і промислових підприємств, організація доріг, сільське господарство, а найгірше атомна енергетика. Проблема сміття є "видимою": люди стикаються із нею щодня і саме тому вона їх турбує найбільше. Щоб побороти її потрібно налагодити мережі вивозу сміття та донести до свідомості людей, що смітити, це неправильно. Слід розширити спектр продукції із переробленого сміття.

3. Забруднення атмосфери. Повітряна оболонка Землі безпосередньо впливає на стан поверхні ґрунту, оскільки вона є фільтруючою ланкою, яка перешкоджає впливу космічної радіації. Наприклад, кислотні дощі відбуваються через велику концентрацію оксиду сірки і азоту, які викидають хімічні заводи.

11.5. Забруднення повітря та заходи його усунення

Відповідно до джерел утворення атмосферних домішок, виділяють природні та штучні або антропогенні (створені людиною) джерела забруднення. До природних джерел відносяться пилові бурі, виверження вулканів, пожежі в лісах та степах, руйнування гір, космічний пил тощо. Але найбільше забруднює атмосферу людська діяльність. Насамперед, це розвиток промисловості, робота генеруючих теплових електростанцій та теплоелектроцентралей, забруднення радіацією, побутові відходи, активне використання всіх видів транспорту. Побутове забруднення повітря відбувається через повсякденну діяльність людини. Для того, щоб опалити сучасні будинки і квартири, приготувати їжу, необхідно спалювати багато палива, що викидає шкідливі речовини в атмосферу. Щоб контролювати кількість шкідливих викидів в атмосферу, із метою їх зменшення, у розвинених країнах встановлюють системи контролю викидів продуктів згоряння, не дивлячись на велику вартість таких систем. Посилюється контроль над вмістом вихлопних газів, встановлюють очисні споруди на електростанціях та інших промислових підприємствах, впроваджують технології десульфуризації димових газів.

Як зазначено раніше, існують два головні джерела забруднення атмосфери: природне та антропогенне.

Космічний пил утворюється із залишків згорілих метеоритів під час їхнього проходження в атмосфері. Щорічно його випадає на Землю

від 2 до 5 млн т. Природний пил є постійною складовою частиною земної атмосфери. Він являє собою дрібні тверді зважені у повітрі частки радіусом 10^{-4} – 10^{-3} см. Частки природного пилу мають органічне і неорганічне походження та утворюються у результаті руйнування і вивітрювання гірських порід та ґрунту, вулканічних виверженъ, лісових і степових пожеж, випарювання із поверхні морів. Одним із джерел пилу у нижніх шарах атмосфери є безводні пустелі та степи. Як правило, природне забруднення не становить загрози для біогеоценозів та живих організмів, хоча короткочасні наслідки можливі. Атмосферний пил сприяє конденсації водяного пару, а отже, і утворенню опадів. Крім того, він поглинає пряму сонячну радіацію і захищає організми від сонячного випромінювання.

Джерелами антропогенного забруднення атмосфери є теплоенергетика, промисловість, нафто- і газопереробка, транспорт, випробування термоядерної зброї.

Газовий склад атмосфери змінюється, все менше і менше стає кисню. Тільки за один переліт турбіни лайнера можуть спалювати 40 – 60 тон атмосферного кисню, в той час як 400 мільйонів автомобілів спалюють кисню набагато більше.

Не меншою загрозою для озонового екрану є фреони – хімічні інертні речовини, які широко застосовують у холодильній промисловості та у виробництві побутових аерозольних упаковок. В ході фотохімічного розкладання в стратосфері фреони виділяють іони хлору, який руйнує озон.

Відновлювальний процес забезпечується зеленими легенями планети – лісами, які варварські знищуються. Для прикладу – одне дерево бука виділяє в середньому за день 1,5 літра кисню. Кора цього дерева виловлює із повітря багато шкідливих домішок, переробляючи їх в живу матерію.

Забруднення атмосферного повітря – один із основних типів антропогенного забруднення. Він полягає у викиді в атмосферу хімічних речовин, твердих частинок і біологічних матеріалів, здатних викликати шкоду для людини та інших живих організмів. Часто ефект забруднювачів є непрямим та проявляється лише через тривалий час, наприклад, певні речовини здатні зменшувати товщину озонового шару, впливаючи таким чином на більшість земних екосистем (рис. 11.6).









Рисунок 11.6 – Екологічні небезпеки

Промисловий пил утворюється в результаті механічної обробки різних матеріалів (дроблення, розмелювання, підривання, заповнення, розрівнювання), теплових процесів (спалювання, прожарювання, сушіння, плавлення), транспортування сипучих матеріалів (навантаження, просіювання, класифікація).

Рідкі забруднюючі речовини утворюються під час конденсації пари, розпиленні і розливі рідин (кольорова металургія, виробництво цементу). Під час спалювання палива утворюється величезна кількість газоподібних сполучень – оксиди сірки, азоту, вуглецю, важких і радіоактивних металів.

Реакції відновлення також є джерелом газоподібних забруднюючих сполук, наприклад, виробництво коксу, соляної кислоти із хлору і водню, аміаку із атмосферного азоту.

Важливим методом зниження темпів забруднення атмосфери є очищення палива, а зокрема, бензину від шкідливих домішок, наприклад, свинцю, який ушкоджує головний мозок дітей. Одним із правил, введених у 1960–70-х роках в Лос-Анджелесі із метою боротьби із нафтохімічним смогом, є вимога облаштувати всі автомобілі каталітичними нейтралізаторами викидних газів. Але у 1980-ті роки здійснення цієї програми уповільнилося, а кількість автомобілів продовжувала зростати.

Один із основних видів забруднення атмосфери – автомобільний транспорт. У викидах автомобілів знаходяться такі шкідливі речовини як: угарний газ, окиси азоту, тверді частинки та летючі органічні з'єднання. На автотранспорт приходиться 90 % угарного газу, що взагалі викидається в атмосферу. За високих рівнів вмісту у повітрі він викликає сонливість і навіть призводить до смерті. Максимальна кількість викидів регіструється в години піку, причому всередині автомобіля концентрація шкідливих речовин найбільша. Припускають, що двоокис азоту подразнює легені і викликає загострення астми.

Тверді частинки, що осідають навколо (в тому числі на нашому одязі та шкірі) є складовою частиною забруднень від автотранспорту. Найменші із них (діаметром до 10 мікрометрів, тобто однієї сотої міліметра) спроможні проникати глибоко в легені, загострюючи респіраторні захворювання. Значну кількість цих частинок викидають у повітря автомобілі із дизельними двигунами і великі вантажівки.

Вихлопні гази дають одну третю вуглекислого газу, що викидається в повітря, сприяють утворенню парникового ефекту, який викликає глобальне потепління. Летючі органічні речовини, такі як поліароматичні вуглеводні та бензол, спонукають утворення смогів. Викиди вуглеводнів є наслідком не повного згоряння палива. Це можуть бути гази або тверді частинки. Бензол (що потрапляє у атмосферу із вихлопами і випарами із бензобаків і бензоколонок під час заправки автомобілів) може викликати рак легенів і респіраторні захворювання.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, цей газ настільки небезпечний, що для нього не існує норм гранично допустимої концентрації. Окиси азоту із повітряними масами переміщуються на значні відстані і, з'єднуючись із сіркою, випадають у вигляді кислотних дощів, забруднюючи земляні угіддя, водойми, руйнуючи різні забудови. Окиси азоту можуть також з'єднуватися із твердими частинками палива і угарного газу, які не повністю згоріли, утворюючи фотохімічний смог. Спільна реакція вуглеводнів, кисню та окисів азоту на сонячне випромінювання приводять до утворення озону.

Фотохімічний смог (видима не озброєним оком туманність їдких газів, характерна для таких крупних міст, як Лос-Анджелес та Мехіко) формується у результаті дії сонячного ультрафіолетового випромінювання на вуглеводні та окиси азоту. Через температурні інверсії (коли поверх землі повітря більш холодне ніж в вище лежачих шарах) смог висить над містом і не розсіюється. Дослідження в США показали, що під час смогів астматики частіше страждають від нападів і потрапляють до лікарень. Щоб подолати цю проблему потрібно зменшити викиди від заводів, тобто покращити систему фільтрації повітря та спонукати перехід на більш екологічне обладнання.

Забруднення вуглекислим газом. Для подолання цієї проблеми слід зменшити викиди від машин, також зменшити використання теплових електростанцій. Тобто перейти на "зелені" або відновлювані джерела енергії.

Промислове забруднення. Автотранспорт – це не єдина причина забруднення повітря. Головним його джерелом є промислові підприємства. Спалювання, наприклад, вугілля на теплових електростанціях супроводжується викидами диму, який містить двоокис сірки та окис азоту. Окрім згаданих вище наслідків, двоокис сірки може викли-

кати звужування дихальних шляхів і загострює різні хвороби. В процесі виробництва пластмас у атмосферу попадають елементи хлорофторвуглецю, які руйнують її озоновий шар. Відрізняючись великою стійкістю, ці гази спроможні накопичуватись і зберігатися в атмосфері до 100 років. Тому, не дивлячись на спроби скоротити викиди, люди ще довго будуть відчувати негативний вплив все того ж хлорофторвуглецю, який накопичився у атмосфері.

Під час спалювання великої кількості побутового сміття, яке постійно накопичується, виникає дим, у якому знаходяться діоксини. Речовини, які використовуються у хімчистці, містять перхлоретилен, який було внесено спеціалістами до списку "шкідливих для здоров'я забруднювачів повітря", які мають канцерогенні властивості (рис. 11.7).



Рисунок 11.7 – Зруйнована екологія

Основними забруднювачами атмосфери є продукти згоряння в теплоенергетичних установках: котельні, теплові електростанції, теплові електроцентралі, різноманітні печі: в металургії, нафтопереробці, виробництві будівельних матеріалів, хімічних сполук тощо і, звісно, транспортні засоби.

Одним із методів зниження темпів забруднення атмосфери – це очистка палива, а зокрема, бензину від шкідливих домішок, таких як свинець. Передбачається поступовий перехід автомобілів із бензину на більш екологічно чисте паливо. Щоб зменшити викиди в атмосферу у розвинених країнах постійно встановлюють системи контролю викидів продуктів згоряння, не дивлячись на велику вартість таких систем. Посилюється контроль над вмістом вихлопних газів, за перевищення норм накладають штраф.

Важливою є установлення очисних споруд на електростанціях та інших промислових підприємствах. Введення технології десульфуризації димового газу на ТЕС, які працюють на вугіллі, дозволяє значно скоротити вміст двоокису сірки у димі. Комбіноване використання тепла та енергії на промислових підприємствах означає, що тепло, замість того, щоб "йти на вітер" і розсіюватися в атмосфері, буде обігрівати приміщення.

Установка каталітичних нейтралізаторів на бензинових автомобільних двигунах дозволяє зменшити об’єми викидів у атмосферу оксидів азоту, угарного газу і вуглеводнів більш ніж на 75 %.

Необхідність залучати у виробництво більш ефективні та екологічно безпечні технології визнають зараз у всьому світі. Важливо також вдосконалювати конструкції автомобільних двигунів і скорочувати число особистого транспорту на дорогах.

Слід зазначити, що із-за постійного збільшення забруднення повітря збільшились випадки госпіталізації хворих із астмою. Збільшується захворюваність астмою та іншими респіраторними захворюваннями серед дітей, погіршується стан людей похилого віку, вагітних жінок, людей із захворюваннями серця та легень. Дійшло навіть до того, що лікарі їм радять інколи не виходити на прогулянки.

Для захисту атмосферного повітря від забруднень автотранспортом велике значення мають заходи із планування і розбудови міських поселень. Зокрема, озеленення автомагістралей, зонування жилих масивів, створення різнорівневих транспортних розв'язок, кільцевих доріг, використання підземного простору для розміщення автостоянок, гаражів, створення швидкісних автомагістралей, санітарно-захисних зон.

До заходів економічного характеру, спрямованих на скорочення викидів в атмосферу, відносять: встановлення економічних санкцій

(плата за викиди, плата за надмірні викиди, штрафи за заподіяння шкоди навколишньому середовищу); формування екологічних бірж, в рамках яких можна придбати або продати право на додаткові викиди забруднюючих речовин в атмосферу; розроблення заходів із стимулювання впровадження нових технологічних процесів.

Другу групу заходів складають ті заходи, які направлені на зменшення концентрації забруднюючих речовин в межах промислових вузлів, центрів, агломерацій. До них відносять заходи із планування розосередження, деконцентрації шкідливих виробництв за територією.

До третьої групи заходів із запобігання атмосферним забрудненням відносять екологоосвітні та екологовиховні заходи. Формування складових екологічної культури населення дозволяє впорядкувати побутове забруднення повітряного середовища, із розумінням відноситися до запровадження повітряноочисних заходів на робочих місцях, в установах, організаціях і на підприємствах.

Відновлювальний процес забезпечується зеленими легенями планети – лісами, які зараз варварські знищуються. Для прикладу, одне дерево бука виділяє в середньому за день 1,5 літра кисню. Кора цього дерева виловлює із повітря багато шкідливих домішок, переробляючи їх в живу матерію.

Таким чином, до основних заходів, спрямованих на охорону чистоти повітря, відносяться: запобігання забруднення навколишнього середовища шляхом урахування екологічних проблем в ході планування промислового розвитку, запровадження системи контролю за станом повітря, прийняття законів, що передбачають застосування санкцій до порушників, введення жорстких стандартів на склад атмосферного повітря та викидів, поліпшення якості палива, проведення наукових досліджень у сфері екології.

11.6. Забруднення води та заходи його усунення

Забруднення води – це негативні зміни фізичних, хімічних та бактеріологічних властивостей води, викликані введенням надлишку неорганічних речовин (твердих, рідких, газоподібних), органічних, радіоактивних або тепла, які обмежують або перешкоджають використанню водних ресурсів в питних та господарських цілях.

Сьогодні відомо більше 400 речовин і з'єднань, здатних викликати погіршення стану природних вод. Але це не єдина небезпека, яка загрожує нашій гідросфері. Забруднення поверхневих вод розподіляють на наступні класи: механічні; хімічні; біологічні (бактеріальні); радіоактивні.

Механічне забруднення води обумовлено попаданням в неї нерозчинних речовин або домішок. Вони можуть бути різного розміру, від мікрочастинок пластика до достатньо великих відходів. Наприклад, в Світовому океані вже існують величезні ділянки, буквально всіяні сміттям. Ці плями настільки великі, що їх видно навіть із орбіти. Рівень забруднення цього типу зазвичай вище в прибережних зонах.

Хімічне забруднення води – це наявність в ній різних органічних і неорганічних речовин в кількостях, які значно перевищують допустимі норми. Воно вважається найпоширенішим видом антропогенного забруднення води. Перелік хімічних речовин, які отруюють наші річки, моря і озера, вражає. Це і нафта разом із продуктами її переробки, і важкі метали, і добрива, які використовують в сільському господарстві, інші речовини. Найбільшу лепту в отруєнні води різною "хімією" вносять промислові підприємства – в їх стоках можна виявити чи не всю таблицю Менделєєва. Хімічне забруднення прісних вод залишається невидимим, його визначення вимагає достатньо складних лабораторних досліджень.

Біологічне забруднення води – це значне збільшення в ній різних мікроорганізмів, водоростей, грибів тощо. До цього приводить підвищення концентрації неорганічних і органічних речовин. Наприклад, сполуки фосфору викликають "цвітіння" річкової води [51].

Радіоактивне забруднення води – це суттєве підвищення вмісту в ній радіонуклідів. Основним джерелом деградації водних ресурсів цього типу є атомні електростанції, могильники ядерних відходів, військові полігони тощо. Радіонукліди мають властивість накопичуватися в планктоні, а потім передаватися за харчовим ланцюжком, потрапляючи, в кінці кінців, до людей у вигляді виловленої риби або інших морепродуктів. Зрозуміло, що така їжа згубно впливає на здоров'я людини. Як можна впоратися із проблемою забруднення води?

Очищення річок, озер, морів та океанів в даний час здається майже неможливим. Єдиний варіант – це впливати на уряди, щоб вони

приймали більше міжнародних законів щодо захисту навколишнього середовища. Посилення контролю над великими підприємствами та введення більш суворих штрафів за забруднення води безумовно є хорошою стратегією.

Забруднення води – це насичення вод, водотоків і водоймищ речовинами в таких кількостях або сполученнях, які погіршують якість води та зумовлюють несприятливі наслідки, а також потрапляння різного бруду у води річок, озер, підземних вод. Це відбувається у результаті прямого або непрямого потрапляння забрудників у воду за відсутності заходів щодо очищення і видалення шкідливих речовин. Здебільше забруднення прісних вод залишається непоміченим, оскільки забрудники розчиняються у воді, але є такі винятки, як мийні засоби, нафтопродукти, що плавають на поверхні. Є декілька природних забрудників.

Джерела забруднення води:

- забрудники потрапляють до прісної води різними шляхами: у результаті нещасних випадків, навмисних викидів сміття, виливів;
- швидке забруднення підземних вод навкруги міст. Джерело – зростаюче число забруднених свердловин унаслідок неправильної експлуатації;
- все більшу загрозу для прісноводих водоймищ становлять стоки, які скидають рибницькі господарства, зважаючи на широке вживання ними фармацевтичних засобів боротьби із хворобами риб;
- після потрапляння в річку, гнойова рідота може стати причиною серйозної екологічної катастрофи, оскільки її концентрація в 100 разів більше, ніж стічних вод, оброблених на очисних спорудах.

Головним джерелом забруднення природних вод є стічні води (промислові, господарсько-побутові, сільськогосподарські), серед яких за токсичністю виділяються промислові стічні води (рис. 11.8).

За видами забруднення вод виділяють:

- хімічне (неорганічне і органічне);
- фізичне (теплове, радіаційне);
- біологічне (мікроорганізмами, гельмінтологічне, гідрофлорне).

Для забезпечення необхідного стану води природних водних об'єктів необхідно розробляти та реалізовувати заходи із охорони вод. Тому слід розглянути більш детально джерела забруднення води.



Рисунок 11.8 – Забруднення водоймища

Стічні води. Забруднення водоймищ стічними водами із різними шкідливими домішками неорганічного (кислоти, луги, мінеральні солі) та органічного (нафта і нафтопродукти, миючі засоби, пестициди тощо) складу. Крім того, із стічними водами до річок потрапляють різні мікроорганізми, спори грибів, яйця гельмінтів, багато із яких є хвороботворними для людей, тварин і рослин.

Фермерські господарства. Забруднення великою кількістю хімічних добрив, отрутохімікатів, гербіцидів, інсектицидів і органічних відходів, які вимиваються і потрапляють в поверхневі та підземні води, а також забруднення від великих тваринницьких комплексів.

Промислові відходи. До основних забруднювачів води належать хімічні, нафтопереробні та целюлозно-паперові комбінати, гірничорудна промисловість, комунально-побутові стоки. Ртуть, мідь, фтор, радіоактивні частки, залізо – це "подарунки" річкам від промислових підприємств. Серед забрудників води особливе місце посідають синтетичні миючі засоби, які є надзвичайно стійкі, зберігаються у воді роками. До "найшкідливіших" виробництв відносять чорну металургію, нафтопереробні та целюлозно-паперові заводи.

Витоки нафти. Особливої шкоди водоймам завдають нафта і нафтопродукти, які утворюють на поверхні води плівку, що перешкоджає газообмінові між водою та атмосферою і знижує вміст у воді кисню. У результаті розливу 1 т нафти плівкою покривається 12 км^2 води. Згустки мазуту осідають на дно, вбивають донні мікроорганізми, які приймають участь у процесі самоочищення води. Внаслі-

док гниття таких осадів, забруднених органічними речовинами, виділяються шкідливі сполуки (зокрема сірководень), що отруюють усю воду в річці. Окрім забруднення і неприємного запаху води, це приводить до мору риби і птахів.

Тверді відходи. Забруднення води відбувається внаслідок накопичення в ній нерозчинних домішок – пластикових пляшок, пакетів, гравію, піску, глини, мулу, який змивається із дощовими водами із розораних ділянок (полів). Замулення річок відбувається внаслідок розорювання заплав і вирубування лісових смуг. Тверді частинки знижують прозорість води, пригнічують розвиток водяних рослин, забивають зябра риб та інших водяних тварин, погіршують смакові якості води, а іноді роблять її взагалі непридатною для споживання. Через це водойми перетворюються на смітники.

Теплове забруднення. Забруднення води відбувається внаслідок спускання у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних об'єктів, які підвищують загальну температуру водоймищ. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на їхніх мешканців. Вода, нагріта до температури 26 – 30 °С, діє на риб та інших мешканців водойм пригнічуючи, а якщо температура води піднімається до 36 °С, то риба гине. Крім того, злив теплої води у річки призводить до евтрофікації, тобто прискореного заростання водоймищ водоростями і мору живності.

Атмосферне забруднення. Наявність у повітрі золи, попелу, сажі та різних газів приводить до того, що вони із опадами потрапляють до річки. Оксиди азоту і сірки, з'єднуючись із киснем і вологою, стають причиною кислотних дощів, які забруднюють природне середовище.

Заходи усунення забруднення. Найперше, для покращення стану водоймищ необхідно забезпечити навколо водних об'єктів оптимальне поєднання лісових насаджень та лугів, здійснити комплекс заходів із припинення скидання до них неочищених стічних вод, ренатуралізації осушних заплав, рекультивації порушених земель, а також провести моніторинг стану гідротехнічних споруд на річках, перероблення берегів, що призводить до обміління та замулення річок.

Вода може забруднюватися, як просто людьми, що не дбають про природу, що їх оточує, так і виробничими підприємствами, які зливають більшість промислових відходів у водойми поблизу. Також іноді

стаються аварії під час транспортування нафти та інших речовин, що також приводить до забруднення води.

Заходами для усунення забруднення води можна вважати правові заходи, тобто закони, які забороняють забруднення води на правовому рівні. Для цього слід посилити державний нагляд і контроль за скидами із підприємств і дотриманням режиму господарювання у водоохоронних зонах річок і дренажних каналів згідно із ст. 18 Закону України "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного добробуту населення". Адже сьогодні власники підприємств фактично безкарно зливають відходи у водоймища. Або ж, як варіант, підприємства, які здійснюють виробничу діяльність, обладнати системою дощової каналізації з очисними спорудами для запобігання забрудненню водоймищ міста неочищеними дощовими водами.

До заходів також можна віднести технологічні заходи із удосконалення технологій виробництва та промислової діяльності для зменшення обсягу стічних вод.

Технічні засоби захисту водного середовища від забруднення:

- захист морського середовища під час експлуатації суден – очищення та нейтралізація газових викидів суднових енергетичних установок;
- заходи, спрямовані на боротьбу із розлитою нафтою – механічні та біологічні методи усунення нафти. У природних умовах за допомогою фізичних процесів забезпечується перенесення (дрейф) нафти, а шляхом хімічних і біологічних процесів – для її руйнування. Відомо понад 100 видів бактерій, які окислюють нафтопродукти;
- очищення господарсько-побутових і виробничих стічних вод полягає у застосуванні механічних, хімічних, фізико-хімічних, біохімічних, термічних і комбінованих методів. Найефективнішим щодо економії засобів і раціонального використання водних ресурсів є очищення стічних вод до нормативів, які існують для води в системах оборотного водопостачання, тобто певний об'єм води багаторазово циркулює у виробництві, а скидання стічних вод мінімальне або не відбувається взагалі.

Основні методи очищення води, які освоєно на рівні сучасних технологій

1. Механічний (відстоювання) – використовують для усунення із води нерозчинних домішок.

2. Хімічний – полягає у коагуляції та нейтралізації забруднювальних речовин.

3. Фізико-хімічний – здійснюють на основі декількох методів:

- *флотацій* – пропускання через стічні води повітря, бульбашки якого під час підняття вгору захоплюють із собою і виносять із потоку води забруднювальні речовини;
- *сорбцій* – це здатність поглинати забруднювальні речовини та акумулювати їх на своїй поверхні;
- *екстракцій* – введення у стічні води речовин, які можуть розчиняти забруднювальні речовини;
- *евапорацій* – пропускання через нагріту стічну воду водяної пари;
- *іонний обмін* – це поглинання забруднювальних речовин у процесі фільтрування через іонні смоли;
- *електроліз* – пропускання через стічні води електричного струму в спеціальних електролізних установках. Ступінь очищення води за сумою нерозчинних речовин становить майже 90 %.

4. Біологічний – проводиться шляхом біологічного окислення забруднень у природних умовах (на полях зрошення, у спеціальних біологічних ставках, а також штучних умовах – біологічні фільтри тощо).

5. Біохімічний – основний метод очищення стічних вод, забруднених органічними речовинами. Це біофільтри, аеротенки, аератори, конструкції яких постійно вдосконалюються.

Важливо провести аналіз указаних методів очищення води.

Механічне забруднення. Характеризується значним погіршенням якості води внаслідок засмічення нею твердими частинками: мул, пісок, шлам, глина, металевий пил. Попадання у воду інертного сміття суттєво погіршує її органолептичні властивості та змінює фізичні та хімічні характеристики, а також засмічує водопровідні магістралі. Механічне забруднення води усувається за допомогою різних способів, головними з яких є відстоювання та фільтрування. Розрізняють дискові, сітчасті, мішчасті, поліпропіленові фільтри, що працюють за одним принципом – великі частинки та нерозчинні домішки затримуються та згодом видаляються.

Усунення надмірної жорсткості. Жорстка вода завдає сильної шкоди промисловому обладнанню та побутовій техніці. Наприклад, якщо на нагрівальному елементі електронного чайника знаходиться

накип, то це указує на необхідність очищення води, що надходить у будинок. Жорсткість води визначається сумарною концентрацією в ній розчинених солей магнію та кальцію. Жорстка вода непридатна для вживання та здатна вивести з ладу обладнання.

Забруднення води солями жорсткості потребує кваліфікованого підходу до вибору технології очищення. Найефективнішим сьогодні є іонний обмін, який полягає у вилученні одних іонів (шкідливих іонів) та заміною їх іншими (корисними іонами). Внаслідок цього процесу вода знесолюється і пом'якшується.

Серед інноваційних методів слід відзначити нанофільтрацію. Розміри пор нанофільтраційної плівки складають 0,001 – 0,01 мкм. Це дозволяє затримувати катіони важких металів. У результаті вода пом'якшується та знесолюється у 20 – 50 разів.

Видалення заліза із води. Серед сучасних технологій із позбавлення води від органічного заліза слід зазначити окислення, яке використовується вже десятки років. Залізо та марганець окислюються киснем повітря, хлором, озоном та іншими речовинами, а потім осідають. Після осадження настає етап механічної фільтрації води. Головними недоліками цього є тимчасові витрати, оскільки це тривалий процес. Крім того, присутність у воді заліза завжди указує на наявність у ній марганцю, який окислюється значно довше. Процес ускладнюється і тим, що частки окисленого заліза мають розмір, який не в змозі відфільтрувати муніципальні комунальні системи. На допомогу прийдуть так звані коагулянти, здатні укрупнити дрібні частинки. Однак сьогодні з'явилися і передові методи, наприклад, ультрафільтрація. Ультрафільтраційна мембрана здатна утримувати частинки розміром до 1 мкм. Однак, ця технологія вимагає чималих витрат і застосовується переважно в побуті власниками приватної нерухомості.

Органічні забруднення. Діяльність людини призводить до техногенного забруднення води. Це токсичні продукти, а часом і канцерогенні продукти, що утворилися під час обробки води активним хлором. Багато природних органічних сполук також завдають воді суттєвої шкоди. У боротьбі із органічними забрудненнями високу ефективність показали такі пристрої як сорбційні (вугільні) фільтри. Фільтрування води через такі установки затримує молекули органічних речовин на сорбенті, функцію якого виконують активне вугілля різних типів. Додат-

ковим етапом очищення нерідко є дехлорування води за допомогою установки з активованим вугіллям.

Висока мінералізація. Сумарна концентрація у воді розчинених солей не повинна перевищувати 1500 мг/л, щоб вважатися придатною для пиття і бути нешкідливою для здоров'я. Однак у більшості випадків цей показник дуже перебільшений. Для демінералізації води використовують технологію зворотного осмосу. Основним елементом зворотноосмотичної установки є тонкоплівкова мембрана, крізь яку "продавлюється" вода. Отвори мембрани настільки малі, що пропускають лише молекули води та деяких газів: кисню, вуглекислого газу. Решта домішок залишаються на мембрані та зливаються в дренаж.

Забруднення річок в Україні

До найбільш брудних річок України відносять Сіверський Донець, Сулу, Дністер, Кальмиус і Західний Буг. У останній концентрація азоту в 15 разів, а важких металів в 8 разів вище за норму. У притоках Дністра рівень марганцю перевищує допустиму відмітку в 29 разів. Значно забруднено Каховське, Київське і Кременчуцьке водосховища. Міді і марганцю тут в 80 разів більше, ніж указано в стандартах. Навіть купання в такій воді може привести до шкірних захворювань. Пити таку воду без додаткового очищення не можна.

Джерела забруднення річкових вод: стічні води; фермерські господарства; промислові відходи (хімічні, нафтопереробні та целюлозно-паперові комбінати, гірничорудна промисловість, комунально-побутові стоки; ртуть, мідь, фтор, радіоактивні частки, залізо, синтетичні миючі засоби); витоки нафти; тверді відходи; теплове забруднення; атмосферне забруднення.

Наслідки забруднення води: зменшення видової різноманітності річкової флори і фауни; заростання і зникнення водойм; погіршення смаку, кольору і запаху води; руйнування емалі наших зубів із-за надлишку фтору; спалахи гепатитів, спровоковані бактеріями і кишковою паличкою; перевантаження організму залізом, що викликає порушення формування кісткової тканини; накопичення свинцю, хрому, кадмію, бензапірену, а також хлор у воді провокують появу онкології і нервових розладів; інфекційні і кишкові захворювання: від тифу і дизентерії до холери; погіршення стану волосся і шкіри; з'єднання фенолу і фтору негативно впливають на роботу печінки; зараження паразитами; радіо-

активні ізотопи і пестициди накопичуються в організмах і циркулюють в харчових ланцюжках, руйнують тканини і призводять до безпліддя і генетичних мутацій.

Основними заходами щодо зменшення ступеня забруднення води є: очищення стічних вод; використання стічних вод для зрошення; впровадження замкнутих технологій водозабезпечення; скорочення обсягів скидання забруднювачів у водойми; вдосконалення технологічних процесів; нормування якості води, тобто розроблення критеріїв її придатності для різних видів водокористування.



Заходи покращення води: експерти вважають, що, найперше, для покращення стану водойм необхідно забезпечити навколо водних об'єктів оптимальне поєднання лісових насаджень та лугів, здійснити комплекс заходів із припинення скидання до них неочищених стічних вод, ренатуралізації осушних заплав, рекультивації порушених земель, а також провести моніторинг стану гідротехнічних споруд на річках, переробки берегів, що призводить до обміління та замулення річок.

Запитання для самостійного контролю

1. Назвіть основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології.
2. Наведіть визначення та поясніть сутність ергономіки.
3. Що є об'єктом і предметом дослідження ергономіки?
4. За якими ергономічними характеристиками людини здійснюється оцінювання технічних засобів і технологій?
5. Що означає система ергономічного забезпечення розробки та експлуатації?
6. Назвіть складові, на які поділяють сучасну ергономіку.
7. У чому полягає сутність системи "людина – середовище існування"?
8. Які складові включає техногенне середовище?
9. Як ергономіка впливає на безпеку життєдіяльності людини?
10. Наведіть визначення та поясніть сутність екології.
11. Назвіть основний предмет та головні завдання екології.
12. Назвіть екологічні вимоги, які наведено у статті 51 Закону України "Про охорону навколишнього середовища".
13. 22. Як екологія впливає на безпеку життєдіяльності людини?
14. Наведіть приклади забруднення Землі та заходи усунення забруднення.
15. Наведіть приклади забруднення повітря та заходи його усунення.
16. Поясніть заходи економічного характеру, спрямованих на скорочення викидів в атмосферу.
17. Наведіть приклади забруднення води та заходи його усунення.
18. Назвіть технічні засоби захисту водного середовища від забруднення.
19. Назвіть основні методи очищення води, які освоєно на рівні сучасних технологій.
20. Що означають терміни "механічне забруднення води" та "усунення надмірної жорсткості води"?
21. Назвіть джерела забруднення річкових вод.
22. Поясніть заходи покращення води.

Література: [24, 47, 51, 52, 65, 66, 79, 102, 120, 140, 147, 149, 157].

Висновки

У навчальному посібнику розглянуто основні поняття щодо інновацій, інноваційної діяльності, інноваційного процесу, класифікацій інновацій та створення інноваційних технологій, направлених на виготовлення конкурентоздатної продукції та надання послуг. Показано, що в сучасних умовах розвиток інноваційних технологій здійснюється, в першу чергу, шляхом розвитку високих технологій, які є нетрадиційними найбільш новими і прогресивними технологіями сучасності та включають нанотехнології, інформаційні технології, робототехніку, штучний інтелект, 3D-принтери, процесори, біотехнології, соціальні технології тощо. Виходячи із цього, розкрито сутність та можливості високих технологій, обґрунтовано та узагальнено найбільш ефективні напрями їх практичного застосування. Показано важливе значення науки у розвитку високих технологій і взагалі інноваційних технологій, які є наукомісткими технологіями і поєднують виробництво, науку та інновації.

Значну увагу приділено фізичним основам створення інноваційних технологій. Для цього наведено основні теоретичні підходи до аналізу фізичних закономірностей механіки, термодинаміки і електромагнітних процесів (електромагнітних коливань) та їх застосуванню під час розроблення сучасних технологій на рівні інновацій. Це відноситься до створення космічної техніки і технологій, радіо, телебачення, сучасних комп'ютерів, лазерів, теплових двигунів (двигунів внутрішнього згорянння, дизелів, парових та газових турбін, реактивних авіаційних двигунів, холодильних машин – холодильників). На основі явища електромагнітної індукції показано принцип роботи генератора електричного струму. Розглянуто питання фізичної сутності виникнення та застосування різних за природою коливань (механічних, електромагнітних, акустичних) у медицині та біології, виробництві, мистецтві та музиці. Також розглянуто основні теоретичні рішення щодо механічних і електромагнітних коливань та їх застосування для створення інноваційних комунікаційних технологій: радіо- і телевізійного мовлення, мобільного зв'язку, мережі Wi-Fi. Наведено основи бездротової передачі інформації та сутності мобільних телефонів, обґрунтовано основні канали витоку інформації. Сформульовано принципи роботи електромагнітів та показано їх застосування у повсякденному житті людей, промисловості, транс-

порті, медицині та наукових дослідженнях. Розкрито фізичну сутність лазерів і плазми, які мають велике значення у створенні інноваційних технологій.

Наведено приклади ефективного застосування існуючих інноваційних технологій електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічної справи, інноваційних технологій у медицині, машинобудуванні, хімічній промисловості, будівельній сфері тощо. Так, у медицині отримали широке застосування комп'ютерна томографія, магніторезонансна томографія, ультразвукова діагностика, які є, свого роду, революційними технологіями у збереженні здоров'я людей. Цифровий друк теж став революційним у розвитку поліграфії. Завдяки йому можна здійснювати друк безпосередньо із комп'ютера, без додаткових процесів додрукарської підготовки, які дуже трудомісткі. Застосування інноваційних металорізальних верстатів із числовим програмним управлінням типу "обробний центр" та інструментів зі зносостійкими покриттями дозволило до 10 разів і більше підвищити продуктивність виготовлення виробів та забезпечити їх високу якість. Тому для більш ефективного застосування інноваційних технологій у машинобудуванні під час модернізації виробництва у навчальному посібнику наведено основні положення фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування, на цій основі розроблено практичні рекомендації.

Запропоновано шляхи створення ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій. Для цього показано значення матеріальних ресурсів і ресурсозбереження у життєдіяльності людини і промисловості. Наведено приклади енергозберігаючих технологій. Показано, що основним напрямом розвитку світової енергетики є використання таких альтернативних поновлюваних джерел енергії, як енергія сонця, вітру, води, біопаливо. Тому енергозберігаючі технології в Україні застосовують сонячні батареї, вітрову енергію, теплові насоси, озеленення дахів із метою збереження тепла тощо. Обґрунтовано умови заміни основних ресурсів на біопаливо – органічних матеріалів: деревини, відходів і спиртів, які використовують для виробництва енергії.

Показано основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки і екології та розглянуто приклади забруднення Землі, повітря, води і сформульовано заходи із їх усунення на рівні високих технологій.

Список використаних джерел

1. Алмазная обработка: учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Київ: ІЗМН, 1996. – 168 с.
2. Атаманова Ю. Є. Господарське-правове забезпечення інноваційної політики / Ю. Є. Атаманова. – Харків: ФІНН, 2008. – 206 с.
3. Барановський І. В. Поліграфічна переробка образотворчої інформації / І. В. Барановський, Ю. П. Яхимович. − Львів − Київ: УАД-НВП "Мета", 1998. − 400 с.
4. Беззубенко Н. К. Підвищення ефективності алмазного шліфування шляхом введення в зону обробки додаткової енергії у формі електричних розрядів: автореф. дис. … докт. техн. наук : 05.03.01 / М. К. Беззубенко. − Харків, 1995. – 56 с.
5. Білецький А. А. Організація і технологія будівельних робіт : навч. посібник / А. А. Білецький. – Рівне : НУВГП, 2007. – 202 с.
6. Брінь П. Економічна сутність підривних інновацій / П. Брінь, Г. Дягілєва // Економічний аналіз. – 2011. – № 8/2. – С. 73–75.
7. Використання 3D-моделювання в навчальному процесі "Інноваційні технології" у ХНЕУ ім. С. Кузнеця / М. Ф. Савченко, В. Ю. Мягков, Д. А. Жовтобрюх, М. М. Савченко // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : Матеріали міжнар. наук.-техніч. конф., Одеса, 6–7 груд. 2023 р.. – Одеса, 2023. – С. 291–292.
8. Високопродуктивне шліфування : навч. посібник / О. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, О. О. Якимов. – Київ: ІСДО, 1995. – 180 с.
9. Гаращенко Я. М. Удосконалення технологічної підготовки адитивного виробництва складних виробів : монографія / Я. М. Гаращенко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023. – 388 с.
10. Гоков О. М. Фізика [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. М. Гоков. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. – 277 с.
11. Грабченко А. І. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні : навч. посібник / А. І. Грабченко. – Харків : ХДПУ, 1999. – 436 с.
12. Гринько Т. В. Механізм формування конкурентоспроможності вітчизняних підприємств на міжнародних ринках : монографія / Т. В. Гринько. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2005. – 324 с.

13. Гусарев В. С. Модели процессов. Алгоритмы. Структуры технологических машин : научное издание / В. С. Гусарев. – Одесса: Печатный дом, 2018. – 227 с.
14. Гусарев В. С. Технологи машиностроения (биографии основоположников) / В. С. Гусарев. – Одесса: Печатный дом, 2017. – 112 с.
15. Делягин М. Все пути ведут в Америку / М. Делягин // Альманах Лебедь – № 246. – 18 ноября 2001 г.
16. Деменков М. С. Інтернет-технології в обслуговуванні клієнтів банку / М. С. Деменков // Банківська справа. – 2009. – N 1. – С. 58–65.
17. Деречин В. В. Системы технологий. Основные промышленные отрасли : учеб. пособие для экон. вузов. В 2 ч. / В. В. Деречин, Ф. Е. Дубровин, В. В. Павленко. – Одесса : Латстар, 2001. – Ч. 2. − 300 с.
18. Дитиненко С. А. Опыт эффективного применения доводки поверхностей деталей пастами и суспензиями / С. А. Дитиненко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении : материалы междунар. научн.-техн. конф., Одесса, 26–29 сентября 2018 г. – Одесса: ОНПУ, 2018. – С. 48–51.
19. Дитиненко С. О. Визначення умов забезпечення заданої шорсткості поверхні при абразивній обробці / С. О. Дитиненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 251–256.
20. Добро Л. Ф. Лазеры в медицине : учеб. пособие / Л. Ф. Добро, Н. М. Богатов, В. В. Супрунов. – Краснодар: КубаньГУ, 2011. – 80 с.
21. Дубова А. Д. Соціальні технології / А. Д. Дубова // Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва : збірник тез І Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне видання), 21 березня 2024 року / за заг. ред. А. А. Івашури. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2024. – С. 348–350.
22. Дубровин Ф. Е. Системы технологий. Основные категории : учеб. пособие для экон. вузов / Ф. Е. Дубровин. – Ч. 1. – Одесса: Латстар, 2001. − 200 с.
23. Дудко П. Д. Основы технологических систем : учеб. пособие / П. Д. Дудко, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2002. – 248 с.

24. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності : підручник / Є. П. Желібо, В. В. Зацарний. – Київ : Каравела, 2007. – 288 с.
25. Желібо Є. П. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства : навч. посібник / Є. П. Желібо. – 2-ге вид. зі змін. та доп. – Київ: Кондор, 2009. – 520 с.
26. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ : монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2019. − 480 с.
27. Жовтобрюх В. О. Підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних систем шляхом вибору раціональних параметрів операцій за критерієм собівартості : автореф. … канд. техн. наук : 05.02.08. – Маріуполь, 2012. – 21 с.
28. Загальна хімічна технологія : підручник / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. – Львів: Вид. Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005. – 552 с.
29. Загородний А. Г. Введение в физику плазмы / А. Г. Загородний, О. К. Черемных. – Київ: Наукова думка, 2014. – 696 с.
30. Зарва О. Підривні інновації як ключовий елемент "формули успіху" у сучасному бізнес-середовищі / О. Зарва // Економічний аналіз. – 2012. – № 10/4. – С. 108–111.
31. Захаров В. П. Лазерная техника : учеб. пособие / В. П. Захаров, Е. В. Шахматов. – Самара: Изд. СГГАУ, 2006. – 278 с.
32. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах. Т. 2 : учеб. пособие / А. В. Беловол, А. А. Клочко, Е. В. Набока, А. О. Скоркин, А. Н. Шелковой; под ред. А. Н. Шелкового. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2016. – 323 с.
33. Инновационное развитие современных технологий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. С. Гусарев, В. Б. Наддачин, А. А. Якимов, А. А. Андилахай, А. С. Сергеев, Д. Ф. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2021. − 480 с.
34. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления : монография / Л. Л. Товажнянский, А. И. Грабченко, С. И. Чернышов, Н. В. Верезуб, Ю. Б. Витязев, В. Л. Доброскок, Х. Кнут, Ф. Лиерат / Под ред. Л. Л. Товажнянского, А. И. Грабченко. – Харьков: ОАО "Модель Вселенной", 2005. – 224 с.

35. Искусственный интеллект: применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э. Кьюсиака; пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 400 с.
36. Іванова О. П. Цифрова трансформація: виклики та можливості" / О. П. Іванова. – Київ: Вид. Києво-Могилянська академія, 2019.
37. Іванов С. В. Загальна хімічна технологія. Промислові хіміко-технологічні процеси / С. В. Іванов, П. С. Борсук, Н. М. Манчук. – Київ: НАУ-друк, 2010. – 280 с.
38. Інноваційні ресурсозберігаючі технології: ефективність в умовах різного фінансового стану агроформувань : монографія / за ред. проф. Г. Є. Мазнєва. – Харків: Вид. "Майдан", 2014. – 592 с.
39. Искусственный интеллект: применение в интегрированных производственных системах / под ред. Э. Кьюсиака; пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 400 с.
40. Карпенко А. П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования : учеб. пособие / А. П. Карпенко. – М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2014. – 71 с.
41. Касьянов М. Цифрові технології: виклики та перспективи. – Київ: Вид. Наукова думка, 2018.
42. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства; Пер. с нем. / Г. Киппхан − М.: Изд. МГУП, 2003. − 1280 с.
43. Ковальчук О. О. Цифрові технології в освіті / О. О. Ковальчук. – Київ: Вид-во "Освіта", 2020.
44. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство : навч. посібник / О. В. Кондращенко, Т. Д. Рищенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 277 с.
45. Коцій Я. Й. Технологія будівельного виробництва : курс лекцій для студентів інженерно-будівельного профілю / уклад.: Я. Й. Коцій, І. Г. Іваник, С. І. Віхоть. – Львів: Вид. Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2006. – 94 с.
46. Кремнев Г. П. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении : учеб. пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков. – Днепропетровск: ЛИРА, 2016. – 297 с.
47. Крисаченко В. С. Екологічна культура / В. С. Крисаченко. – Київ: Заповіт, 1996. – 352 с.

48. Кузнецов А. В. Применение перспективных материалов и технологий в жилищном строительстве / А. В. Кузнецов // Архитектура и строительство. – 2008. – № 29. – С. 83–87.
49. Лавріненко В. І. Інструментальні матеріали: від природного каменю до штучних алмазів / В. І. Лавріненко; Ін-т надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України. – Київ: Академперіодика, 2023. – 336 с.
50. Лавріненко В. І. Надтверді матеріали в механообробці / В. І. Лавріненко, М. В. Новіков; за ред. М. В. Новікова. – Київ: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.
51. Луканчева А. Г. Биотехнология: достижения, проблемы, перспективы : лекции / А. Г. Луканчева.– Саратов: Сарат. сельскохозяйственный институт, 1991. – 68 с.
52. Макаров А. Экологический вызов и полиграфия / А. Макаров // Курсив. – 2013. – № 4. – С. 2–6.
53. Макаров И. М. Робототехника: история и перспективы / И. М. Макаров, Ю. И. Топчеев. – М.: Наука ; Изд. МАИ, 2003.
54. Макурін М. С. Виробництво електронних засобів : навч. посібник / М. С. Макурін. – Харків: ХДУРЕ, 1999. – 180 с.
55. Матвійчук-Соскіна Н. О. Використання інструментів дифузії інновацій у маркетинговому менеджменті: теоретичний і практичний аспект / Н. О. Матвійчук-Соскіна // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 4. – С. 115–123.
56. Матвієнко В. Я. Соціальні технології / В. Я. Матвієнко. – Київ: Укр. пропілеї, 2001. – 446.
57. Менеджмент і адміністрування. Модуль 7. Управління інноваціями. Конспект лекцій (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 073 "Менеджмент") / Уклад. Н. Г. Шепель – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 74 с.
58. Моделирование систем / Г. А. Оборский, А. Ф. Дащенко, А. В. Усов и др. – Одесса: Астропринт, 2013. – 664 с.
59. Моделювання процесу алмазного шліфування методом кінцевих елементів : монографія / В. О. Федорович, Д. О. Федоренко, Д. В. Ромашов, Є. В. Островерх, Л. І. Пупань. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023. – 257 с.
60. Наддачин В. Б. Методы производства заготовок в машиностроении : учеб. пособие / В. Б. Наддачин. – Одесса: Изд. Интерпринт, 2017. – 264 с.

61. Научные технологические школы в развитии современного производства : научно-информационное издание / под общ. ред. Ф. В. Новикова и В. А. Жовтобрюха. – Днепр: ЛИРА, 2021. – 438 с.
62. Новиков Д. Ф. Определение шероховатости поверхности при точении резцами с закругленной вершиной режущей части / Д. Ф. Новиков // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2015. – Вип. 37. – С. 40–46.
63. Новиков Д. Ф. Условия выбора эффективных режимов резания / Д. Ф. Новиков // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении : матер. междунар. научн.-техн. конф., Одесса, 21–23 сентября 2016 г. – Одесса: ОНПУ, 2016. – С. 131–135.
64. Новіков Д. Ф. Ефективне управління технологіями машинобудівних підприємств – важливий фактор підвищення якості їх продукції, соціальної відповідальності, збільшення прибутку та конкурентоспроможності / Д. Ф. Новіков // Бізнес Інформ. – 2019. – №12. – С. 432–437.
65. Новиков Ф. В. Современные экологически безопасные технологии производства : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Д.: ЛИРА, 2017. − 372 с.
66. Новіков Ф. В. Безпека життєдіяльності та інноваційні технології виробництва : навч. посібник / Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2023. – 220 с.
67. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 412 с.
68. Новіков Ф. В. Математичне моделювання і оптимізація процесів металообробки : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 385 с.
69. Новіков Ф. В. Сучасні технологічні системи [Електроний ресурс] : навч. посібник / Ф. В. Новіков, С. О. Дитиненко, Д. Ф. Новіков ; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. – Електрон. текстові дан. (71,2 МБ). – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. – 446 с.
70. Новіков Ф. В. Технічна механіка : навч. посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2023. – 328 с.
71. Новіков Ф. В. Технології створення машин : навч. посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2023. – 484 с.

72. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др.; под общ. ред. С. А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
73. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. – 4-е изд. – Л.: Политехника, 1990. – 272 с.
74. Оствальд В. Мир обойденных величин / В. Оствальд ; пер. с нем. – М.: Изд. товарищества "Мир", 1923. – 214 с.
75. Пат. на корисну модель № 125568. Спосіб обробки внутрішньої поверхні циліндрів / В. О. Анділахай, Д. Ф. Новіков, Ф. В. Новіков, О. О. Анділахай. – Заявка u 2017 12994, 27.12.2017; опубл. 10.05.2018. – Бюл. № 9. – 4 с.
76. Пильненький В. В. Інноваційні технології у підготовці майбутніх спортсменів в умовах освітнього процесу закладів вищої освіти / В. В. Пильненький // Молодий вчений. 2021. – № 5(2). – С. 190–192. URL: https://doi.org/10.15673/atbp.v11i3.1500
77. Попова Л. М. Введение в нанотехнологию : учеб. пособие / Л. М. Попова. – Санкт-Петербург : СПбГТУРП, 2013. – 96 с.
78. Прищепа М. М. Мікроелектроніка. У 3-х частинах. Ч. 2. Елементи мікросхемотехніки : навч. посібник / М. М. Прищепа, В. П. Погребняк. – Київ: Вища школа, 2006. – 503 с.
79. Проблемы развития современного общества: культура, инновации, высокие технологии и экология / В. Н. Гринева, П. Д. Дудко, А. Г. Крюк и др. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 300 с.
80. Прогресивні технології механічної обробки : монографія / Ф. В. Новіков, А. Г. Крюк, В. Г. Шкурупій та ін. ; за заг. ред. докт. техн. наук, проф. Ф. В. Новікова. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2012. – 372 с.
81. Прогрессивные методы получения заготовок из листового проката в машиностроении : учеб. пособие / Г. П. Кремнев, И. П. Коновалов, В. Б. Наддачин и др. – Одесса: Изд. Печатный дом, 2016. – 48 с.
82. Прокопенко О. В. Наукові підходи до трактування поняття і визначення етапів життєвого циклу інновації / О. В. Прокопенко // Економічні інновації : збірник наукових праць. – Одеса, 2010. – Вип. 41. – С. 213–223.
83. Проривні технології в оборонній сфері України / В. І. Слюсар, В. В. Сотник, А. В. Купчин, В. Г. Шостак // Озброєння та військова техніка. – 2020. – № 4. – С. 13–23.

84. Пчелянський Д. П. Штучний інтелект: перспективи та тенденції розвитку / Д. П. Пчелянський, С. А. Воінова // Automation of Technological and Business Processes. – 2012. –11(3). С. 59–64.
85. Різник Є. О. Сучасні тенденції в металообробці, базуючись на власному досвіді з використання ріжучого інструменту TAEGUTEC (Республіка Південна Корея) // Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва : збірник тез І Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне видання), 21 березня 2024 року / за заг. ред. А. А. Івашури. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2024. – С. 377–383.
86. Рубіжний П. В. Ефективність застосування спеціальних фрез FF для усунення вібрацій при фрезеруванні та підвищення якості й продуктивності обробки, зниження зносу інструменту // Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва : збірник тез І Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне видання), 21 березня 2024 року / за заг. ред. А. А. Івашури. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2024. – С. 384–386.
87. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. 3-е издание. Совместная публикация ОЭСР и Евростата / Пер. на русск. яз. – М.: ГУ "Центр исследований и статистики науки", 2006. – 192 с.
88. Савченко М. Ф. Розробка нової технології виготовлення виробів методами безпресового імпульсного штампування / М. Ф. Савченко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении : матер. Междунар. научн.-техн. конф., Одесса, 23–25 сентября 2020 г. – Одесса: ОНПУ, 2020. – С. 154–159.
89. Сазыкин Ю. О. Биотехнология : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. О. Сазыкин, И. И. Чакалева ; под. ред. А. В. Катлинского. – 3-е изд., стер. – М.: Издат. центр "Академия", 2008. – 256 с.
90. Свідерський В. П. Економічна ефективність технологічного забезпечення виготовлення корпусних деталей локальним деформуванням : наукове видання / В. П. Свідерський. – Харків: Вид. ХДЕУ, 2003. – 196 с.
91. Середюк М. В. Альтернативний метод отримання шорсткості на плоских поверхнях деталей у машинобудуванні на базі ріжучого інструменту TAEGUTEC // Фізичне виховання, безпека життєдіяльнос-

ті і сучасні технології виробництва : збірник тез І Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне видання), 21 березня 2024 року / за заг. ред. А. А. Івашури. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2024. – С. 391–394.
92. Сизый Ю. А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский. – Харьков: ГП УкрНТЦ "Энергосталь", 2016. – 448 с.
93. Системи технологій : навч. посібник / В. С. Пономаренко, М. А. Сіроштан, М. І. Бєлявцев та ін. – Харків: Око, 2000. – 376 с.
94. Системы технологий : учеб. пособие / В. Н. Гринева, П. Д. Дудко, В. С. Пономаренко и др. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 292 с.
95. Слоцька Л. С. Основи поліграфії (друкарські та брошурувально-палітурні процеси): навч. посібник / Л. С. Слоцька, В. З. Маїк, Ю. М. Румянцев; за заг. ред. Е. Т. Лазаренка. – Львів: УАД, 2012. – 244 с.
96. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.
97. Современные технологии : учеб. пособие для самост. изуч. заочниками / В. В. Бакуменко, Ю. А. Гохберг, О. И. Дидченко и др. – Донецк: [б. н.], 2005. – 363 с.
98. Теоретические основы технологии машиностроения : учебник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов и др. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 492 с.
99. Теплофізика механічної обробки / О. В. Якимов, А. В. Усов, П. Т. Слободяник та ін. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
100. Техніко-економічне обґрунтування сучасних технологій виробництва: навч. посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, О. А. Єрмоленко, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2022. – 256 с.
101. Технологічні машини : підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти / С. М. Гнітько, М. Я. Бучинський, С. В. Попов, Ю. А. Чернявський. – Харків: НТМТ, 2020. – 258 с.
102. Технологии производства: проблемы и решения : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко и др. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.
103. Технологи и технологии : научно-информационное издание / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 352 с.

104. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посібник / С. І. Мельник, О. Д. Муляр та ін. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – Ч. 1. – 282 с.
105. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – 359 с.
106. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 томах / под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 1. Механика резания материалов. – 580 с.
107. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – 802 с.
108. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2003. – Т. 6. Качество обработки деталей машин. – 716 с.
109. Хофер М. Компьютерная томография : базовое руководство / М. Хофер. – М.: Медицинская литература, 2008. – 228 с.
110. Чистяк В. Г. Клепаные соединения и перспективы импульсных технологий их выполнения / В. Г. Чистяк, Н. Ф. Савченко // Вісник інженерної академії України. – 2000. – Вип. 19. – С. 240–243.
111. Шаров С. В. Сучасний стан розвитку штучного інтелекту та напрямки його використання / С. В. Шаров // Українські студії в європейському контексті. – 2023. – № 6. – С. 136–144.
112. Шахно Е. А. Физические основы применения лазеров в медицине / Е. А. Шахно. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2012. – 129 с.
113. Школа В. Ю. Життєвий цикл інновацій та його основні етапи / В. Ю. Школа // Вісник Сумського державного університету. – 2006. – № 1. – С. 148–154.
114. Шкурупій В. Г. Системи технологій : навч. посібник / В. Г. Шкурупій, Ф. В. Новіков, Ю. В. Шкурупій. – Ч. 1. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 288 с.
115. Шкурупій В. Г. Системи технологій : навч. посібник / В. Г. Шкурупій, Ф. В. Новіков, Ю. В. Шкурупій. – Ч. 2. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 480 с.

116. Шкурупій В. Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.02.08 / В. Г. Шкурупій. − Одеса, 2006. – 21 с.
117. Шпак В. І. Управління сучасним видавництвом : навч. посібник / В. І. Шпак. – Київ: Експрес-об'ява, 2019. – 368 с.
118. Шпак В. Поліграфія: книга редактора : навч. посібник / В. Шпак. – Київ: ДП "Експрес-об'ява", 2017. – 336 с.
119. Шумпетер Й. Теория экономического развития / Й. Шумпетер. – М.: Издательство Прогресс, 1982. – 456 с.
120. Экология : учеб. пособие / С. А. Боголюбов, А. Ф. Завальнюк, И. Н. Калечиц и др. – М.: Знание, 1997. – 288 с.
121. Энциклопедический словарь бизнесмена. Менеджмент. Маркетинг. Информатика / под общ. ред. М. И. Молдованова. – Київ: Техніка, 1993. – 856 с.
122. Эрлих Г. Малые объекты – большие идеи. Широкий взгляд на нанотехнологии / Г. Эрлих. – М.: Бином, 2011. – 254 с.
123. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання : навч. посібник / С. М. Ярема. – Київ: Ун-т "Україна", 2003. – 320 с.
124. Fedir Novikov, Viktor Marchuk, Irina Marchuk, Valentin Shkurupiy and Vladimir Polyansky. Technological Support of Surface Layer for Optical Metalware. Advances Manufacturing Processes II. InterPartner 2020, Lecture Notes in Mechanical Engineering / eds.: V. Tonkonogyi (et al.), pp. 412–421, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-68014-5_41 – URL: http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/26807/1/INTER%20PARTNER%202020%20ODESSA%20.pdf
125. Hosseinkhani, Hossein (2023). Biomedical engineering: materials, technology, and applications. Weinheim, Germany. ISBN 978-3-527-82667-4.
126. Novikov, F., Hutorov, A., Yermolenko, O., Dytynenko, S., Halahan, Y. Evaluation of a Decrease in Temperature Conditions upon Intermittent Grinding. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 190–199 pp. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16651-8_18

127. Novikov F., Novikov D., Hutorov A., Ponomarenko Y., Yermolenko O. (2021) Justification of Technological Possibilities for Reducing Surface Roughness During Abrasive Processing. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Pp. 463-471. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77719-7_46
128. Werner G. Technologische und Konstruktive Voraussatzungen fur das Tiefschleifen / Werner G. − "Werkstattstechnik", 1979. – Nr.10. – s. 613–620.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

129. Берназюк О. О. Використання цифрових технологій у професійній підготовці майбутніх педагогів у закладах вищої освіти. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/33965/1/ПРОБЛЕМА%20НАУКОВОГО%20ВИЗНАЧЕННЯ.pdf.
130. Використання цифрових технологій у професійній підготовці. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/338197277_VIKORISTANNA_CIFROVIH_TEHNOLOGIJ_U_PROFESIJNIJ_PIDGOTOVCI.
131. Властивості лазерного випромінювання. Когерентність. URL: https://studfile.net/preview/9284228/page:12/
132. Голографічні методи запису інформації. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/11264/2/Conf_2010v1_Koval_M-Holohrafichni_metody_zapysu_informatsii_80.pdf
133. Господарський кодекс України : Закон України від 16.01.2003 р. № 436-IV. Ст. 325. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-15#Text.
134. Де застосовують електромагніти? URL: https://dovidka.biz.ua/de-zastosovuyut-elektromagniti
135. Десять перспективных инноваций, которые изменят наш мир. URL: https://morethandigital.info/ru/10-pyerspyektivnikh-innovatziy-kotoriye-izmyenyat-nash-mir/
136. Застосування лазера в хірургії. URL: https://medcity.ua/ua/patient/section/primenenie-lazera-v-khirurgii/

137. Квантові генератори та їх застосування. URL: https://mozok.click/2556-kvantov-generatori-ta-yih-zastosuvannya.html
138. Кейс-урок "Смартфон – моє все!". URL: https://ua.edufuture.biz/wpm/kejsi-dlya-serednoyi-ta-starshoyi-shkoli/kejs-urok-smartfon-moye-vse/
139. Михаліченко О. Л. Використання сучасних цифрових технологій в освітньому процесі. URL: https://naurok.com.ua/vikoristannya-suchasnih-cifrovih-tehnologiy-v-osvitnomu-procesi-342096.html.
140. Небезпечні та шкідливі чинники техногенного середовища [Електронний ресурс]. – URL : https://studopedia.com.ua › 1_89064_nebezpechni-ta-s
141. Області застосування радіохвиль. URL: https://www.asutpp.ru/oblasti-primeneniya-radiovoln.html
142. ОЕСР, 2005 р., "Вимірювання науково-технічної діяльності: Керівні принципи збору та інтерпретації даних про інновації: Посібник з Осло, Третя редакція", підготовлену Робочою групою національних експертів з науково-технічних показників, ОЕСР, Париж, параграф. 42. С. 32-35. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264013100-en.pdf?expires=1606390988&id=id&accname=guest&checksum=07A6A48D7535D1572D0EC4A72FF61379.
143. Поняття про 3D-друк. URL: https://vseosvita.ua/lesson/poniattia-pro-3d-druk-548219.html
144. Пример радикальных инноваций | 6 блестящих идей, которые нравятся всем. URL: https://ahaslides.com/ru/blog/example-of-radical-innovation/
145. Принцип роботи холодильника. URL: https://cikavosti.com/printsip-roboti-holodilnika/
146. Про інноваційну діяльність : Закон України від 04.07.2002 р. № 40-IV. Ст. 1. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text].
147. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII, чинний. Дата оновлення 08.10.2023, підстава - 2614-IX. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text
148. Робототехніка: застосування та перспективи в майбутньому. URL: https://duikt.edu.ua/ua/news-1-0-11333-robototehnika-zastosuvannya-

ta-perspektivi-v-maybutnomu?lang=ua&act=view&page=1&category=0&id=11333&sys_link=robototehnika-zastosuvannya-ta-perspektivi-v-maybutnomu
149. Середовище зв'язане з використанням технічних засобів – https://osvita.ua
150. Теорія радіохвиль. URL: https://habr.com/ru/articles/158161/
151. Технічні канали витоку інформації. URL: https://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/15155/1/NP_Tekhnichni_kanaly_vytku_inf.pdf
152. Технології друку. URL: https://pro3d.com.ua/a359169-tehnologiyi-druku.html
153. Технології друку – які вони бувають? URL: https://sd.te.ua/yaki-buvayut-tehnolohii-druku
154. Физики преуспевают благодаря безбумажным публикациям. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/11876491.pdf
155. Флексографський друк. URL: http://drukarstvo.com/fleksohrafichnyj-druk/
156. Цифрові системи і технології. URL: https://knute.edu.ua/file/MTI1Nzk=/cf39a697030cffc8c2e1bdcc1044dbbd.pdf.
157. Шкідливий вплив виробничого шуму на організм людини та засоби його мінімізації на робочому місці https://te.dsp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/04/img_1306-520x245-3.jpg
158. Шовкографія – що це таке? URL: https://evopack.com.ua/shovkografiya-shho-cze-take/
159. Що таке робототехніка? / Академія Професій Майбутнього. – URL: https://academyua.com/stati/32-shcho-take-robototekhnika
160. Що таке 3D друк? URL: https://pro3d.com.ua/a358911-scho-take-druk.html
161. Які є особливості та різниця між офсетним та цифровим друком? URL: https://avers.ua/news/yaki-je-osoblivosti-ta-riznicya-miz-ofsetnim-i-cifrovim-drukom
162. Electromagnetic spectrum - introduction. Imagine the Universe!. URL: https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html (date of access: 22.11.2023).

Зміст

Вступ …… 3
Розділ 1. Сутність інноваційних технологій ……..… 5
1.1. Інновації та інноваційна діяльність …….. 5
1.2. Класифікації інновацій ……..…….. 15
1.3. Інноваційні процеси ……..…….. 25
1.4. Інноваційні технології …….. 30
1.5. Напрями розвитку інноваційної діяльності ……..…. 42
Запитання для самостійного контролю …….. 44
Розділ 2. Високі технології …… 45
2.1. Сутність цифрових технологій ……. 45
2.2. Сутність мікротехнології та мікроелектроніки ……..……. 53
2.3. Соціальні технології ……..…….. 59
2.4. Робототехніка …….. 64
2.5. Штучний інтелект ……..…….. 82
2.6. Нанотехнології …….. 97
2.7. Сутність 3D-друку ……. 116
2.8. Біотехнології ……..…….. 128
Запитання для самостійного контролю …….. 138
Розділ 3. Значення науки у розвитку інноваційних технологій …. 139
3.1. Основні поняття та визначення в технології ……. 139
3.2. Наукомісткість технологій ……..…… 146
3.3. Сучасний науково-технічний розвиток …….. 152
3.4. Поєднання виробництва, науки та інновацій …….. 167
Запитання для самостійного контролю ……..…. 172
Розділ 4. Фізичні основи інноваційних технологій ……...…… 173
4.1. Значення фізики у розвитку інноваційних технологій …..... 173
4.2. Основи термодинаміки та теплові двигуни ……..……... 181
4.3. Явище електромагнітної індукції та генератори електричного струму ……..……..…… 198
4.4. Процеси коливання та їх значення у створенні сучасних технологій ……..……..…… 206
4.5. Теоретичні основи механічних коливань ……..…….. 210
4.6. Затухаючі та вимушені коливання в електричному коливальному контурі. Явище резонансу ……..……..…….. 219

4.7. Механічні та електромагнітні хвилі …….. 225
4.8. Основи бездротової передачі інформації ……..……. 231
4.9. Мобільний телефон ……..…… 237
4.10. Основні канали витоку інформації ……. 242
4.11. Електромагніти та їх застосування ……..…… 244
4.12. Квантові генератори світла (лазери) ……. 248
4.13. Поняття плазми та її практичне значення ……..……. 255
Запитання для самостійного контролю ……..…… 258
Розділ 5. Інноваційні технології електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічної справи …… 259
5.1. Технології електронних мультимедійних видань та значення фізики у їх розвитку …….. 259
5.2. Голографія та її практичне застосування …….. 266
5.3. Значення фізики у розвитку видавництва і поліграфії ..…. 270
5.4. Друкарські засоби інформації та стан поліграфії на сучасному ринку ……..…… 274
5.5. Цифровий друк та перспективи його розвитку ……..…….. 279
5.6. Сутність та перспективи розвитку традиційних методів друку ……... 286
5.7. Тенденції розвитку поліграфічних технологій ……..…….. 297
5.8. Застосування сучасних технологій "Комп'ютер − ... " у виробництві друкарської продукції …….. 299
Запитання для самостійного контролю ……..… 308
Розділ 6. Інноваційні технології в медицині …… 309
6.1. Сучасна медицина ……..……. 309
6.2. Біомедична інженерія ……..…… 309
6.3. Впровадження сучасних технологій в медицині ……..…. 314
6.4. Комп'ютерна томографія ……..…… 317
6.5. Ультразвукова діагностика ……..……. 320
6.6. Лазерні системи в медицині ……..…….. 324
6.7. Перспективи розвитку біомедичної інженерії …….. 327
6.8. Застосування технології 3D-друку в медицині …..…….. 332
6.9. Застосування інноваційних окулярів O2Amp …….. 334
6.10. Робот Да Вінчі: переваги роботичної хірургії ……. 336
6.11. Сучасні технології в спортивній діяльності …….. 338
Запитання для самостійного контролю …….. 340

Розділ 7. Інноваційні технології у машинобудівній промисловості ……..….. 341
7.1. Пріоритетні напрями технологічного розвитку ……..… 341
7.2. Ефективність застосування сучасних високообертових металообробних верстатів із ЧПУ типу "обробний центр" та ріжучих лезових твердосплавних і керамічних інструментів зі зносостійкими покриттями …….. 349
7.3. Industry 4.0: розумний інструмент для розумного виробництва …….. 366
7.4. Розроблення методики розрахунку оптимальних режимів високошвидкісного різання твердосплавними інструментами зі зносостійкими покриттями за критерієм найменшої собівартості обробки ……..…….. 369
7.5. Інноваційні технології обробки матеріалів ……. 371
Запитання для самостійного контролю ……..…… 391
Розділ 8. Основні положення фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування ……..... 393
8.1. Теоретичні основи визначення умов підвищення точності механічної обробки ……..…..…. 393
8.1.1. Аналітичне визначення сили різання та умови її зменшення ……..…. 393
8.1.2. Загальний підхід до визначення умов підвищення точності обробки ……..…… 396
8.1.3. Обґрунтування оптимального автоматизованого циклу круглого шліфування ……..…….. 401
8.1.4. Обґрунтування ефективності застосування пружної схеми шліфування із початковим натягом у технологічній системі …….. 406
8.1.5. Закономірності формування похибок обробки під час зубошліфування за методом профільного копіювання. 413
8.1.6. Умови підвищення точності та продуктивності обробки отворів мірними лезовими інструментами .. 422
8.1.7. Умови зменшення похибок обробки під час розточування отворів ……..…… 425

8.1.8. Визначення оптимальних умов високошвидкісного розфрезерування та розточування отворів …… 429
8.2. Теоретичні основи високоякісної бездефектної обробки деталей машин …… 433
8.2.1. Розроблення теоретичного підходу до визначення параметрів теплового процесу під час механічної обробки …… 433
8.2.2. Вибір раціональної структури і параметрів операцій механічної обробки за температурним критерієм ... 448
8.2.3. Визначення умов зменшення температури шліфування …… 455
8.2.4. Теоретичне обґрунтування умов зменшення теплової напруженості механічної обробки …… 464
8.2.5. Обґрунтування умов підвищення якості та продуктивності обробки під час зубошліфування за температурним критерієм …… 467
8.2.6. Визначення умов зменшення температури різання під час високошвидкісної обробки лезовими інструментами та вибір оптимальних режимів різання …… 476
8.3. Нанотехнологічне забезпечення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин …… 484
Запитання для самостійного контролю …… 494
Розділ 9. Сучасні технології у хімічній промисловості та будівельній сфері …… 495
9.1. Характеристика технологій у хімічній промисловості …… 495
9.1.1. Хімічна промисловість України …… 495
9.1.2. Виробництво неорганічних речовин …… 498
9.1.3. Виробництво органічних речовин …… 509
9.2. Сучасні технології виробництва матеріалів та житлового будівництва …… 525
9.2.1. Властивості будівельних матеріалів та їх класифікація …… 525
9.2.2. Основи організації будівництва …… 536
Запитання для самостійного контролю …… 544

Розділ 10. Основи створення ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій ……..…. 545
10.1. Значення матеріальних ресурсів у життєдіяльності людини ……..…… 545
10.2. Основні шляхи ресурсозбереження у промисловості ….. 547
10.3. Місце і роль технологій у ресурсозбереженні ……..….. 551
10.4. Теплозбереження та ресурсозбереження в побуті …...… 561
10.5. Заміна основних ресурсів на біопаливо ……..…… 564
Запитання для самостійного контролю ……..…… 568
Розділ 11. Ергономічні та екологічні чинники сучасних технологій …… 569
11.1. Основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології …….. 569
11.2. Сутність ергономіки ……..…….. 572
11.3. Сутність екології ……..…… 580
11.4. Приклади забруднення Землі та заходи усунення забруднення ……...……. 588
11.5. Забруднення повітря та заходи його усунення …….. 589
11.6. Забруднення води та заходи його усунення …….. 596
Запитання для самостійного контролю ……..……. 606
Висновки ……..…… 607
Список використаних джерел ……..…. 609

Навчальне видання

Федір Васильович Новіков
Дмитро Федорович Новіков
Валерій Олексійович Жовтобрюх

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск **Новіков Ф. В.**

В авторській редакції

На обкладинці використані фрагменти зображень з сайту Freepik.

Підп. до друку 01.07.2024 р.
Формат 60х84/16. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 36,5.
Наклад 300 пр. Заказ № 114

Видавництво та друкарня ПП "Ліра ЛТД"
49107, м. Дніпро, вул. Наукова, 5
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК № 6042 від 26.02.2018.