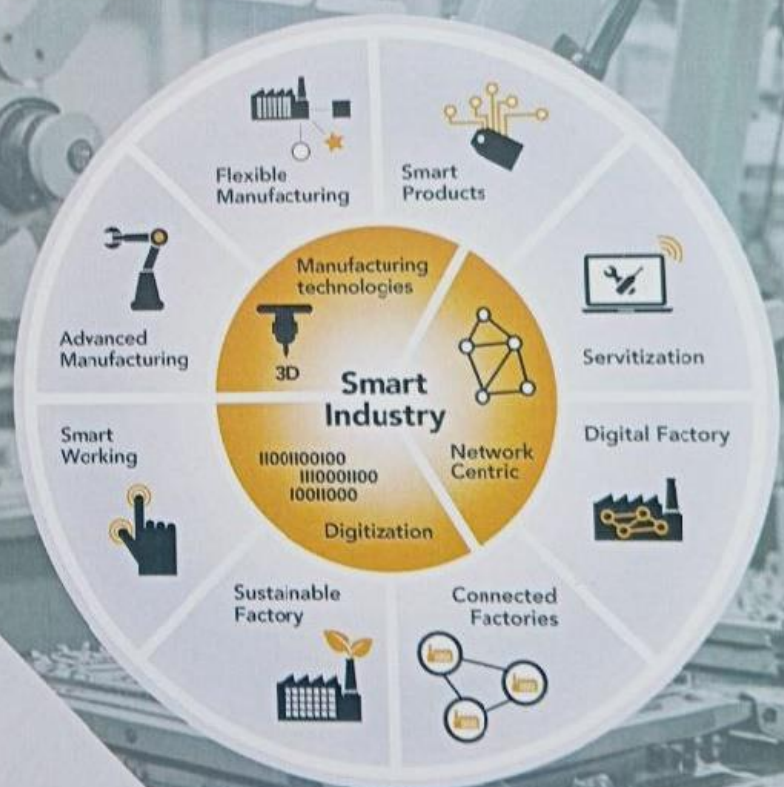


Г. П. Кремнев
В. М. Колеснік
Ф. В. Новіков
В. О. Жовтобрюх

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ



Навчальний
посібник

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Г.П. Кремнєв, В.М. Колеснік, Ф.В. Новіков, В.О. Жовтобрюх

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник

Одеса
«Екологія»
2025

УДК 621.01

К79

Автори :

Г. П. Кремнєв, кандидат технічних наук, доцент;

В. М. Колеснік, кандидат технічних наук, доцент кафедри цифрових технологій в інжинірингу Національного університету «Одеська політехніка»;

Ф. В. Новіков, доктор технічних наук, професор кафедри здорового способу життя, технологій і безпеки життєдіяльності Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

В. О. Жовтобрюх, керівник групи компаній Технічний центр «ВаріУс», «ТаегуТек Україна», «Тверді сплави», «ВаріТек»

Рецензент:

І. М. Буюклі, кандидат технічних наук, доцент, викладач спеціально технічних дисциплін Одеського фахового коледжу комп'ютерних технологій Одеського державного екологічного університету

Рекомендовано до друку відповідно до рішення вчених рад

Національного університету «Одеська політехніка»

(протокол № 6 від 22.01.2025 р.)

та Інституту цифрових технологій, дизайну та транспорту

Національного університету «Одеська політехніка»

(протокол № 5 від 26.12.2024 р.)

Кремнєв Г.П.

К79 Тенденції розвитку машинобудування : навчальний посібник / Г.П. Кремнєв, В.М. Колеснік, Ф.В. Новіков, В.О. Жовтобрюх. – Одеса : Екологія, 2025. – 142 с.

ISBN 978-617-8420-15-4

Розглянуто проблеми машинобудування на сучасному етапі. Проведено аналітичне дослідження технічних і технологічних систем сучасності та їх майбутнє до 2040 р. Показано можливості робототехніки, нанотехнологій, комбінованих технологій сьогодні та в найближчій перспективі. Виконано прогнозування розвитку технологічної науки та її впливу на розвиток машинобудування, особливо військового машинобудування, на 20 років вперед. Зроблено акцент на вплив ІТ, АІ, космічних та квантових технологій на розвиток технологій до 2040 р.

Рекомендовано для фахівців машинобудування та студентів та аспірантів вищих навчальних закладів.

УДК 621.01

ISBN 978-617-8420-15-4

© Кремнєв Г.П., Колеснік В.М.,
Новіков Ф.В., Жовтобрюх В.О., 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Етапи розвитку машинобудування	5
1.1. Історична довідка про розвиток машинобудування	5
1.2. Склад сучасного машинобудування	6
1.3. Науковий підхід до розвитку машинобудування	7
2. Проблеми машинобудування, які потребують кардинальних змін	10
2.1. Надійність.....	10
2.2. Екологія, вібраційний захист.....	16
3. Сучасні та потенційно майбутні технологічні системи.....	18
3.1. Склад технологічних систем	18
3.2. Напрями розвитку технологій виробництва на сучасному етапі	23
3.3. Поєднання виробництва, науки та інновацій	32
3.4. Пріоритетні напрямки розвитку технологій	39
3.4.1. Технологічні уклади.....	39
3.4.2. Наукоємність технологій	44
3.4.3. Вплив науки на розвиток технологічної системи	48
3.5. Поєднання виробництва, науки та інновацій	58
3.6. Пріоритетні напрямки технологічного розвитку	59
3.6.1. Види напрямків технологічного розвитку	59
3.6.2. Комбіновані технології обробки матеріалів	61
4. Високі технології та їх розвиток	67
4.1. Робототехніка, технології штучного інтелекту	67
4.2. Нанотехнології	76
5. Тренди в науці та технологіях 2023-2040 р.р.....	83
5.1. Розвиток науки і технологій	85
5.2. Домени науки і технологій	93
5.3. Розвиток науки: технологій, зв'язок із EDT	109
5.3.1. Великі дані та розширена аналітика (BDAA)	109
5.3.2. Штучний інтелект (AI).....	115
5.3.3. Автономія	118
5.3.4. Квантові технології (QT)	121

5.4. Космічні технології.....	123
5.5. Гіперзвукові системи.	125
5.6. Біотехнології і технології підвищення людських можливостей (бтплс).	127
5.7. Новітні матеріали та виробництво.	131
Література	141

Вступ

Машинобудування – це комплекс галузей промисловості, що виготовляють знаряддя праці, предмети споживання та продукцію загального та оборонного призначення. Рівень розвитку машинобудування визначає продуктивність праці в цілому, якість продукції інших галузей промисловості, темпи розвитку технічного виробництва та обороноздатність країни.

Машинобудування – це технічна основа інфраструктури матеріального виробництва та основа підвищення його ефективності. Найбільш важливою частиною машинобудування є верстато-інструментальна промисловість, яка є базою для розвитку інших галузей машинобудування та приладобудування.

Автори висловлюють подяку Вовченку Д.В. та Вовченко К.К. за допомогу в оформленні рукопису книги.

1. Етапи розвитку машинобудування

1.1. Історична довідка про розвиток машинобудування

Перші машини з'явилися десь 2500 років тому:

- Герон Олександрійський – перша парова турбіна;
- Архімед – стінобитні машини та гвинтові приводи для підйому води вгору;
- Леонардо да Вінчі найпростіші механізми, вертоліт;
- Ньюкомен – перша парова машина;
- Джеймс Уатт – парові машини з повним робочим циклом;
- Джеймс Стефенсон, брати Черепанови – перші паровози та залізниці;
- Ж.Коньо – перший автомобіль з паровим двигуном;
- брати Блеріо та Можайський – перші літаки та багато інших.

Процес розвитку сучасного машинобудування у XX, та на початку XXI століття можна представити так:

- до 1950 року – паперові креслення та відповідні технології виготовлення машин;
- до 2000 року – використання аналогових та цифрових технологій у підготовці технологічної документації та управлінні технологічними процесами;
- до 2020 року – машинобудування п'ятого покоління та сучасної ІТ техніки, тобто без паперова технологія, комп'ютерне управління виробництвами.

Частка машинобудування у розвинених країнах світу у загальному обсязі промислового виробництва становить: США $\approx 50\%$; Японія – 50% ; Росія $\approx 17\%$; Україна $\approx 10\ldots 11\%$. У цьому слід зазначити, що у Японії немає практично корисних копалин на відміну інших країн. В Україні рік у рік ця частка машинобудування зменшується, і це небезпечна тенденція втратити основу розвитку країни, безпеку та обороноздатність.

1.2.Склад сучасного машинобудування

Машинобудування сьогодні та на близьку перспективу – це симбіоз галузей:

- військова техніка;
- спеціальне та атомне машинобудування;
- авіація;
- космічне машинобудування;
- Суднобудування;
- сільгоспмашинобудування;
- металургійне машинобудування;
- хімічне машинобудування;
- транспортне машинобудування;
- енергетичне машинобудування;
- верстатобудування;
- приладобудування.

В Україні галузі машинобудування представлені НДІ, КБ, заводами, центрами та іншими організаціями, кожна з них вирішує свої локальні завдання, але їх поєднують спільні для всього машинобудування проблеми, а це безпека, екологія, енерговитрати, матеріаломісткість, надійність та низка інших.

Наша країна, як і багато інших країн, стикається з дедалі більшим виснаженням матеріальних та енергетичних ресурсів, необхідністю пошуку таких технологій виготовлення та експлуатації машин, які змогли б забезпечити потреби України хоча б на перспективу 2030 року.

Звичайні машини після введення їх в експлуатацію служать приблизно від 5 до 7 років, спеціальні машини – до 10 років, а унікальні від 15 до 17 років, тобто те, що ми створюємо сьогодні – в 2023 доживає до 2033 в більшій частині машин, а деякі машини – 2040 року.

Ресурс машин можна продовжити після їхньої діагностики, ремонтів, відновлення, модернізації, і це сьогодні світова практика. Можливості сучасної технології відновлення показують, що новий ресурс машини може бути більшим, ніж той, що був раніш. За період з 2000 до 2020 року у машинах, що діють, відбувся революційний перерозподіл функцій: якщо раніше 70% функцій виконували механічні частини та 30% датчики, приводи, системи управління та інші, то зараз механіка становить близько 30%, а електроніка та інші близько 70%.

Таким чином, при відновленні можна істотно змінити машину на краще, так як заміна ПЗ, блоків, датчиків та інших її частин в уніфікованому варіанті виготовлення машин не вимагає повторення повного виробничого циклу виготовлення самої машини

1.3.Науковий підхід до розвитку машинобудування

Що сьогодні у машинобудуванні головне? Це безпека. Високі динамічні навантаження, що виникають у високошвидкісних та високопродуктивних машинах, а також умови їх експлуатації: космос, вакуум, Світовий океан, високі температури, вібрації та інші, змушує нас звернути особливу увагу на безпеку. Її ціна надзвичайно висока, а наслідки від виходу машини з ладу навіть важко уявити.

Наприклад, у США на річці Ніагара побудовано найбільшу в США ГЕС великої потужності. Вона забезпечує електроенергією Нью Йорк, Чикаго та інші регіони з великою промисловістю. У грудні 2003 року, ввечері на одній із ЛЕП відмовило реле захисту ланцюгів ціною в 4\$ (не спрацював контакт), а при відмові однієї ЛЕП усі її споживачі були перекинуті на сусіда, інша ж ЛЕП через перевантаження скинула навантаження далі, таким чином спрацював ефект «Доміно» та ГЕС була відключена на деякий час від усіх контактів. Це спричинило збитків на 4 млрд. \$.

Космічний човник на старті вибухнув через тріщину в паливному баку, що призвело до збитків на 5 млрд доларів, а сам бак коштував не більше 10000 доларів, і так далі.

Теорія машин та методи їхнього розрахунку точні для простої геометричної форми (балка, пластина, стрижень, циліндрична оболонка) та ізотропних матеріалів однорідної структури, чого немає в житті. Відомо, що немає літака, у якого в польоті немає мікротріщин в елементах конструкції. Все питання в тому, як швидко ця мікротріщина розів'ється в макротріщину – час

розвитку визначає робочий ресурс конструкції або її життєвий цикл і збереження живучості.

Визначення ресурсу із забезпеченням гарантованої надійності (безпечної експлуатації) – надзвичайно складна наукова проблема. Тут необхідно врахувати все різноманіття елементів (деталей) конструкції, їх геометрію, концентрації напруг усіх видів, динамічних і термодинамічних навантажень, врахувати різноманітні фізичні та механічні властивості застосовуваних у конструкції різних матеріалів (межа міцності, насамперед втомної міцності, межа плинності, пластичність, старіння матеріалу та ін.). Для вдосконалення методів розрахунку, тобто підвищення достовірності розрахунку нам доводиться вирішувати дуже складний комплекс наукових проблем з використанням сучасного математичного апарату, обчислювальної техніки та сучасних досягнень нелінійної механіки.

Формування мікротріщин відбувається в результаті дії змінної напруги в початкових елементах конструкцій шляхом накопичення пошкоджень. Слід наголосити, що близько 80% всіх руйнувань мають, як правило, втомний характер. Корозія матеріалів знижує межу витривалості до 60%. Потім розвиток мікротріщин у різних умовах експлуатації реальних конструкцій відбувається по-різному, але у всіх випадках, як правило, за деякими нелінійними закономірностями. Спочатку спостерігається повільне зростання тріщин, потім помірне, прискорене і нарешті швидке, що часто призводить до катастроф, що і є головним чином причиною більшості аварій.

Проблеми надійності та безпеки машини та конструкції охоплюють усі стадії життєвого циклу об'єктів: проектування, виготовлення, випробування та експлуатацію.

Враховуючи особливу складність цієї проблеми, представимо коротко принципи її вирішення:

– на стадії проектування проводиться аналіз міцності на підставі нормативних та додаткових розрахунків та обґрунтовується вихідний ресурс. Основними критеріями та характеристиками таких розрахунків є: експлуатаційні навантаження P , температури $T(t)$, кількість циклів N , частоти f , характеристики опору матеріалів R (σ_t , σ_b , $\sigma_{дп}$), деформації ϵ , дефекти l . За комплексом розрахункових та експлуатаційних досліджень складається висновок про міцність, довговічність, ресурс, живучість та безпеку відповідної технічної системи;

– на стадії виготовлення вирішуються питання вибору, обґрунтування та розвитку технологій виготовлення та контролю. Для виготовлених елементів, систем та об'єктів загалом встановлюються вихідні стани: фактичні механічні властивості та їх відхилення від технічних вимог, рівень реальної дефектності несучих вузлів, як зазначалося вище, геометричні форми та їх відхилення. Всі ці дані є вихідною інформацією про характеристики міцності $R(b)$, $R(S_{оп})$, деформативності A (відносне подовження), а також про поточні деформації e , температуру T , швидкості зростання тріщин dl / dN (або $dl / d\tau$). На їх основі проводиться уточнення проектних параметрів міцності, довговічності, ресурсу, живучості та безпеки;

– з використанням тих самих критеріїв, що й для стадій проектування та виготовлення, проводиться додаткове уточнення допустимих граничних навантажень P та довговічності N . На цій основі складається висновок про ресурс, методи подальшого контролю та призначаються уточнені режими експлуатації;

– на стадії введення в експлуатацію здійснюються передпускові та пускові випробування (холодна та гаряча обкатка), фізичний пуск (з коригуванням усіх систем підтримки експлуатації) та введення в експлуатацію. При цьому призначається та уточнюється система штатної діагностики основних параметрів, навантажень P , температур T , циклів N , частот f , дефектів l (з використанням переважно штатних систем ультразвукової діагностики УЗД). Для об'єктів високої потенційної небезпеки розробляються, створюються та застосовуються методи та системи оперативної діагностики аварійних ситуацій – з використанням тензо- та термометрії, акустичної емісії (АЕ), термобачення (ТВ), імпульсної голографії (ІМГОЛ). Дані, що отримуються при цьому, можуть давати вихідну інформацію для включення систем автоматичного захисту (САЗ) і систем автоматичного оперативного захисту (САОЗ);

– на початковій стадії експлуатації повинна виходити найважливіша інформація щодо підтвердження або коригування проектних рішень про міцність, довговічність, ресурс живучості та безпеки технічної системи. У міру вичерпання уточненого проектного ресурсу проводиться оцінка залишкового ресурсу безпечної експлуатації. Для узгодження всієї інформації на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта повинні використовуватися уніфіковані критерії та комп'ютерні програми. При цьому дані про ресурс можуть виводитися на блокові щити управління (БЩУ) і бортові лічильники ресурсу (БСР) – n_i / N .

Стосовно стадії експлуатації важливим науково-технічним та економічним питанням стає питання про безпечне виведення об'єктів з експлуатації, особливо у випадках накопичених радіоактивних залишкових випромінювань, хімічних впливів, робочих та аварійних впливів на об'єкти, персонал та навколишнє середовище.

2. Проблеми машинобудування, які потребують кардинальних змін

Раніше ми торкнулися безпеки машин та їх систем і розуміємо, що в нашому все більш складному світі, насиченому величезною кількістю машин на Землі, у повітрі, океані і навіть у космосі, потрібні кардинальні заходи. Розглянемо деякі з них.

2.1. Надійність

Одне з основних завдань зниження ризику виникнення аварійних та катастрофічних ситуацій під час експлуатації машин та технічних систем зводиться до введення у практику багатопараметричної діагностики стану об'єктів. З широко застосовуваних методів неруйнівного та руйнівного контролю найбільш перспективними виявляються транспортні засоби, які дозволяють виміряти основні розрахункові параметри (напруги, температури, дефекти), що визначають міцність та ресурс технічних об'єктів.

У загальному випадку для забезпечення міцності, ресурсу, надійності, живучості та безпеки технічних систем можна скористатися певними співвідношеннями механіки тіла, що деформується, і механіки руйнування, провести відповідні розрахунки і отримати оцінки технічного стану об'єкта. При цьому базовими розрахунковими параметрами є саме параметри напруги, температури та дефектів, які мають бути визначені з використанням сучасних систем діагностики та моніторингу.

Науковий напрямок фундаментальних та прикладних досліджень з проблем міцності, ресурсу та безпеки машин з урахуванням ефектів нелінійності сформувався останніми роками на базі великої кількості НДР, які виконували раніше протягом багатьох років.

На перших етапах вирішення лінійних задач теорії пружності, теорії коливання, теорії *пластин* і оболонок зводилися до визначення статичних та динамічних номінальних та локальних напруг σ^e від експлуатаційних навантажень P^e , і як критеріальні параметри деформативності і міцності

конструкційних матеріалів використовувалися модуль пружності E , межі плинності σ_t і міцності σ_h :

$$\sigma^3 = f(P^3) \leq \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_b}{n_b} \right\}, \quad (1)$$

де: n_t та n_b відповідні коефіцієнти запасів.

Умова (1) одержує додаток при створенні енергетичного та технологічного обладнання широкого застосування, а також автомобілів, сільгоспмашин та іншої техніки. На основі цієї умови (1) були побудовані перші норми міцності Котлоннагляду для енергетичного обладнання.

У військові (1941 – 45 р.р.) та перші повоєнні роки було проведено дослідження щодо втоми та довговічності. До основних параметрів експлуатаційного навантаження були віднесені напруги σ^e число циклів навантаження N^e . На додаток до (1) було сформульовано умови циклічної міцності:

$$\sigma_a^3 = f(P^3, N^3) \leq \left\{ \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma (K_\sigma \cdot \bar{\sigma}_a^3) \varepsilon_\sigma + \psi_\sigma \cdot \bar{\sigma}_m^3} \right\}, \quad (2)$$

де: $\bar{\sigma}_a^3$ і $\bar{\sigma}_m^3$ – амплітуда та середня напруга циклу ($\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_{-1}$); σ_{-1} – межа витривалості конструкційного матеріалу; K_σ , ε_σ , ψ_σ – характеристики чутливості матеріалу до концентрації напруг, абсолютних розмірів та асиметрії циклу.

За умовами (1) та (2) розраховувалися міцність та довговічність несучих вузлів у тепло- та гідроенергетиці, в авіації та на транспорті. Для аналізу місцевих напруг були розвинені методи фотопружності та тензометрії.

Освоєння районів із низькими кліматичними температурами, і навіть створення об'єктів кріогенної техніки в 1950 – 60 гг. висунуло завдання про дослідження низькотемпературної міцності з визначенням характеристик холодноламкості. В аналіз міцності додатково були введені характеристики локального низькотемпературного опору відриву $S_{від}$,

$$\bar{\sigma}_a^3 = f(P^3, N^3, t^3) \leq \left\{ \frac{S_{ом}}{n_s \cdot K_\sigma} \right\}, \quad (3)$$

де: K_σ – коефіцієнт концентрації напруг з урахуванням перерозподілу напруг за рахунок місцевих пластичних деформацій; t^e – температура навколишнього середовища; n_s – коефіцієнт запасу.

Важливе значення при цьому мало вивчення локальних структурних фізико-механічних процесів формування мікродеформацій та мікроушкоджень у матеріалі з використанням методів рентгенографії та мікроскопії.

Для інтенсивних галузей енергетичного, авіаційного та нафтохімічного машинобудування було у 1960 – 1970 р.р. поставлено систематичні дослідження щодо малоциклової втоми. Створення в зонах дії концентрації та температурних напруг областей непружного циклічного деформування зажадало переходу від розрахунків у локальних напругах до розрахунків у локальних деформаціях:

$$\{\sigma^e, e^e, N^e\} = f(P^e, N^e, t^e, m) \leq \left\{ \left[\left(\frac{\sigma_c}{n_\sigma} \right) \left(\frac{e_c}{n_e} \right) \left(\frac{N_c}{n_N} \right) \right] f(\sigma_T, \psi_k, m_p, m_e) \right\} \quad (4)$$

де: σ_c , e_c , N_c – відповідно граничні напруги, деформації та числа циклів; $(\sigma_c = S_{om}, e_c = 1/(1-\psi_k))$; m – характеристика зміцнення в пружнопластичній ділянці; ψ_k – звуження при одноразовому руйнуванні; m_p та m_e – характеристики кривої малоциклового руйнування.

Для визначення σ^e і e^e були розвинені методи фотопружних наклейок, муара, малобазних сіток та малобазної тензометрії.

У зв'язку з підвищенням робочих параметрів стосовно нових завдань теплоенергетики, надзвукової авіації, нафтохімії, металургії були поставлені дослідження з повзучості, високотемпературної короткочасної, тривалої та циклічної (500...3000 °C) міцності, у тому числі при програмних та двочастотних режимах навантаження. До умов (1), (2) і (4) при розрахунках деталей машин були додані вимоги тривалої (за часом експлуатації t^e) міцності $\tau^e_{дн}$

$$\{\sigma^e, e^e, \tau^e, N^e\} = f(P^e, \tau^e, N^e, t^e) \leq \left\{ \left(\frac{\sigma_{дн}^e}{n_\sigma}, \frac{e_c^e}{n_e}, \frac{\tau_c^e}{n_\tau} \right), f(m_\tau) \right\} \quad (5)$$

де: n_τ – запас за часом τ ; m_τ – характеристика кривої тривалої міцності.

Ця вимога отримала відображення у нормах Котлоннагляду. Вимірювання локальних напруг та деформацій виконувались високотемпературними методами тензометрії та муару на технічних об'єктах у нашій країні та за кордоном.

Розвиток та узагальнення великого циклу робіт з міцності та довговічності у 1960 – 70 рр. призвело до формування одного з важливих розділів проектування, виготовлення та експлуатації машин – забезпечення їх надійності та ресурсу. Це в першу чергу стосувалося виробів енергетичного, авіаційного та загального машинобудування, що працюють при змінних режимах термоциклічного навантаження. У розвиток умов (1) та (2) у розрахунок, але кривим втоми $\sigma - N$ вводяться коефіцієнти варіації експлуатаційної навантаженості v_σ , меж витривалості v_{Ga} , і навіть

конструкторсько-технологічних чинників (K_{σ} , e_{σ} , ψ_{σ}). Ці підходи були надалі поширені і на малоциклову втому.

Тоді ж велика увага була приділена розвитку лінійної та нелінійної механіки статичної, циклічної та динамічної руйнації. При цьому розрахунки тріщиностійкості машин стали базуватися на місцевих напругах σ^e та деформаціях e^e , на обліку розмірів дефектів P , коефіцієнтів інтенсивності напруг $K_I^e K_{Ie}^e$, температурних умов навантаження τ^e

$$\{\sigma^e, e^e, K_I^e, K_{Ie}^e\} = f(P^e, t^e, l^e) \leq \left\{ \frac{\sigma_c}{n_{\sigma}}, \frac{e_c}{n_e}, \frac{K_{Ic}}{n_k}, \frac{K_{Iec}}{n_{ke}} \right\} \quad (6)$$

де: n_k , n_{ke} – запаси за коефіцієнтами інтенсивності напруг і деформацій.

Умова (6) одержала нормативне застосування у розрахунках міцності атомних реакторів, судин тиску, трубопроводів та була поширена на інші об'єкти енергетики.

На базі раніше виконаних комплексних досліджень з урахуванням нових завдань у галузі авіаційної техніки, ракетобудування, атомної та термоядерної енергетики набули розвитку методи аналізу міцності, ресурсу, тріщиностійкості та живучості енергообладнання, машин та конструкцій з урахуванням неминучих початкових пошкоджень технологічного та експлуатаційного походження.

До співвідношень (1) – (6) були додані умови для оцінки ресурсу з урахуванням тривалого та циклічного розвитку тріщин у несучих елементах

$$\{\sigma^e, e^e, K_{Ie}^e, N^e, \tau^e, t^e\} = f(P^e, t^e, l^e) \leq \left\{ \frac{\sigma_c}{n_{\sigma}}, \frac{e_c}{n_e}, \frac{N_c}{n_N}, \frac{\tau_c}{n_{\tau}}, \frac{t_c}{n_t} \right\} \quad (7)$$

де: c – індекс критичних характеристик; n_N , n_{τ} , n_t – запаси за кількістю циклів, часу та температурам.

Розрахункові характеристики N_c і τ_c визначаються шляхом інтегрування кінетичних діаграм руйнування

$$\{N_c, \tau_c\} = F \left\{ (\Delta K_{Ie}^e), \left(\frac{dl^e}{dN}, \frac{dl^e}{d\tau} \right) \right\} \quad (8)$$

де: K_{Ie}^e – розмах коефіцієнтів інтенсивності деформацій.

Для аналізу процесів ушкодження були широко використані сучасні методи імпульсної голографії, термобачення, тензочутливих покриттів, рентгенографії, мікроструктурного аналізу, віброметрії.

Результати досліджень в обґрунтуванні співвідношень (1) – (8) відображено у відповідних фундаментальних монографічних публікаціях.

Сьогодні ставляться нові завдання в механіці неоднорідних середовищ з оцінки міцності та ушкодження конструкцій, що взаємодіють з багатофазним середовищем. Це пар, це рідина, яка у вигляді теплоносія взаємодіє із поверхнею твердих тіл. Тут знайдено співвідношення щодо розвитку тріщин, поширення ударних хвиль, їх взаємодії з двофазною рідиною

$$\frac{\partial \alpha_i \rho_i}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i = J_j; \quad (9)$$

$$\frac{\partial (\alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot \rho_i \cdot v_i \cdot v_j) + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot P_i) = R_i - F_i;$$

$$\frac{\partial \alpha_i F_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i \cdot E_i \cdot v_i) + P_i \frac{\partial \alpha_i}{\partial t} + P_i \cdot \nabla \cdot (\alpha_i \cdot v_i) + \nabla \cdot q_i = L_i$$

де: J_i, R_i, F_i, L – міжфазові функції, що характеризують взаємодії, причому

$$L_i = c_i J_j + \sum_j \lambda_{ij} (v_i - v_j)^2 + \sum_i \mu_{ij} (T_i - T_j); \quad (10)$$

$$\rho_h = \sum_i \alpha_{ui} \rho_{ui}; \quad p_m \bar{v}_m = \sum_i \alpha_i \rho_i v_i.$$

де: α_i – відносна частка обсягу кожної i – фази.

Рівняння стану фаз середовища у випадку можна подати у вигляді

$$P_i = P_i(\rho_i, T_i); \quad e_i = e_i(\rho_i, T_i). \quad (11)$$

Дослідження при такій постановці завдання дозволяють уникнути аварійних ситуацій та забезпечити необхідну безпеку.

Як деформується трубопровід? Результати отримані на комп'ютері за допомогою програмного забезпечення, проведено також і аналогічні фізичні експерименти, що підтверджують достовірність розрахункових методів, дано розподіл пластичних деформацій у часі. Отримані результати дозволяють по-новому проектувати відповідальні елементи атомних реакторів та теплообмінних апаратів енергетичного машинобудування та забезпечувати їх безпечну експлуатацію.

Етапи розвитку магістральної тріщини як об'єднання початкових дефектів ушкодженості також були показані на моделях.

Машинобудування застосовує найбільш за всіх чорних металах. Розвиток цього напрямку йшов і буде якийсь час йти шляхом легування, тому що додаючи відповідні елементи, компоненти, можна поліпшити властивості матеріалу або сформувати якісь потрібні. По суті, йде зміна структури металу тому що чим дрібніше зерно, тим вище властивості, хороша пластичність. Однак у світі спостерігається дефіцит легуючих елементів, а ряд рідкісноземельних металів мають «космічні ціни». Менеджери вважають, що з Місяця привести деякі матеріали дешевше, ніж видобувати їх на Землі. Що ми

чекаємо від нових матеріалів? Більш високу міцність, жаростійкість та холодостійкість.

Теоретично, міцність металу – 10000 кг/мм^2 (100 Н/мм^2), а фактична – 30 кг/мм^2 (3 Н/мм^2), легувана сталь – 200 кг/мм^2 (20 Н/мм^2), високолегувана сталь – 400 кг/мм^2 (40 Н/мм^2). Реальність відрізняється від теоретичної у 330 разів.

Жароміцність зараз $\sim 1050^\circ \text{C}$, а вже є необхідність в 1500°C . Якщо підняти температуру експлуатацію лопаток турбін від 200 до 300°C – це стрибок!

Холодостійкість це техніка для роботи в умовах від $+40$ до -40°C . Аморфні матеріали не мають зерен, але мають колосальні властивості, монокристали – наше сьогодні і наше майбутнє, і цей напрямок перспективний.

Існують десятки, можливо, сотні технологій зі зміцнення матеріалів, але завжди є «але»: ви підвищуєте поверхневу зносостійкість, але при цьому у вас падає ударна в'язкість, тобто матеріал стає крихким, і з'являються тріщини – джерело аварійних ситуацій та зниження втомної міцності.

Слід наголосити, що лопатковий апарат газової турбіни – це дуже складна конструкція. Як зазначалося вище, ми вміємо точно вважати прості системи: стрижень, балку, циліндричну оболонку, а лопаткові апарати турбін, лопатки яких мають закручений профіль для забезпечення так званого ненаголошеного аеродинамічного входу – це дуже складний контур. Легко побачити, наскільки це складна конструкція – лопатку не можна уявити у вигляді стрижня чи балки, чи оболонки. Необхідно вміти досить точно вважати всі форми коливань, оцінити всі види деформації та напруги, вміти демпфувати (гасити) можливі коливання за допомогою демпферних зв'язків та уникати резонансних частот.

Лазерні технології виникли у 50 р.р. XX століття, і була створена промислова база для випуску твердотільних, газових та напівпровідникових лазерів та технологічного обладнання з їх використанням. Створені та випускаються промисловістю верстати та прилади.

З часу створення квантового генератора минуло 70 років і лише сьогодні, вже в наш час, з'являються реальні успіхи щодо використання лазерної технології в інженерній практиці. Дослідження, які проводять для цілей інженерної практики іноді потребують дуже великих витрат і дуже складних пошуків після того, як вже відкрито той чи інший фізичний ефект чи явище.

Установка для лазерного зміцнення та поверхневого наплавлення деталей ріжучих елементів сільськогосподарської техніки, створена на базі

оптимізованого технологічного процесу, що забезпечує однорідність структури матеріалу, що зміцнюється. Лазерна наплавка підвищує зносостійкість в 6 разів – це результат реальних випробувань на ріллі в реальному господарстві. Лазерне зміцнення робить підвищення зносостійкості в 4 рази, а індукційне напавлення, яке широко застосовується, – всього в 2 рази. Лапи культиваторів після лазерного напавлення при дрібному оранні культиватором без руйнування гумусного (родючого) шару ґрунту дозволило суттєво підвищити врожайність.

Створено систему лазерної прецизійної діагностики та вимірювань з помилкою до 0,1 мкм. Враховуючи безконтактність і дуже малі помилки у розбіжності променя лазера, ці системи здатні вирішувати перспективні завдання створення та експлуатації машин на великих відстанях, віддалених від бази, наприклад, у космосі.

2.2. Екологія, вібраційний захист

У світі «бігають» дорогами планети близько 1 мільярда автомобілів та автобусів на бензині та дизельному паливі викидаючи в атмосферу відпрацьовані гази та отруюють її. Перегрів нашої планети – це катастрофа світового масштабу, тому зменшення викидів CO₂ – рішення правильне, і його можна буде реалізувати шляхом заміни звичайних авто на електромобілі, теплових станцій на зелену енергетику (водо- вітро- сонце та ін.). З цих напрямів у XX – XXI століттях набули розвитку електроавтомобілебудування, вітроелектростанції, сонячні електростанції, теплові насоси. Розвиток отримує підприємства з випуску каталізаторів для вже випущених авто на органічному паливі та газах, а також ті, що готові виготовляти двигуни на основі водню (розкладання води на водень та кисень). Створення нових машин – це створення нових матеріалів, створення нових технологій для нових та старих матеріалів, залучення старих ресурсів в обіг виробництв, економія ресурсів.

Сьогодні весь світ завалений старими автомобільними шинами, пластиковими пляшками, плівкою та ін У світовому океані плаває або лежить на дні близько 140 млн тон пластику, який повільно розкладаючись у вигляді мікрочастинок потрапляє в стравоходи риб, а звідки в шлунок людини.

Деякі підприємства ІТ спрямованості випускають від 3 до 5% придатних виробів, а решта – брак! Скільки на це пішло ресурсів? Ресурсозберігаючі технології разом з екологічними заходами – це проблеми нашого світлого майбутнього, а для їх реалізації потрібні нові технології та нові машини.

Високі швидкості, великі силові та теплові навантаження, це в першу чергу вібрації, дуже несприятливі для машини та людини – оператора. Шуми в машині – це також погано для людини, але це і високий ризик руйнування машини, тому що вібрації – це шум, а напруги в рухомих частинах машини сприяють розвитку тріщин, що призводить до аварії. У США 10 листопада 2020 пройшли випробування вакуумного поїзда hyperloop з двома пасажирами. Заявлена швидкість цього поїзда від 180 км/год до 1000 км/год. Швидкість реактивного лайнера Boeing близько 800 км/год у польоті та близько 280 – 300 км/год при зльоті та посадці. Якщо екологія від цього поїзда майже не постраждає (це електромагнітна система руху), то людина зазнає величезних прискорень і дії магнітного поля.

Вібрації, прискорення, коливання температур, радіація та інші дії можуть бути смертельними для людини. Звичайно, можна частково автоматизувати ряд виробництв та ряд робочих місць, звівши участь людини – оператора в процесі роботи машини до мінімуму, але не всі процеси та машини легко автоматизувати, економічно автоматизація далеко не завжди вигідна, і надійність таких процесів та машин поки що залишається досить низькою. Зі сказаного випливає, що автоматизація машин і процесів, де ці машини задіяні, як і ранні, один із пріоритетних напрямків розвитку машинобудування, особливо з урахуванням революційних темпів розвитку ІТ технологій.

Великі аварії, що трапляються під час експлуатації машин – це зазвичай сума факторів: помилки розробників проекту, порушення технології виготовлення та заданих умов експлуатації та ін. Аварії трапляються з уже готовими машинами та вміти їх запобігати – це майбутнє машинобудування і воно розвивається у напрямі технологічної діагностики. Ми згадували, що немає жодного літака без тріщин (трубопроводу, судна, верстата та ін.), але вони можуть літати доти, доки тріщина не почне розвиватися. Систем дистанційного контролю та керування режимами експлуатації через інтернет дозволяє сьогодні підвищити безпеку експлуатації як літака, так і інших машин. Ці системи можуть бути на базі лазерних пристроїв, тепловізуалізованих, ультразвукових, вібраційних та хвильових.

Безперечно, безпека роботи машин та надійність їх пов'язані один з одним, і, в перспективі, питаннями надійності як у теорії, так і на практиці буде приділятися все більше уваги.

У світі задіяно величезну кількість машин, систем машин, технічних систем, які мають ті самі проблеми, що розглянуті нами були раніше. А що на них чекає у 2023 – 2040 р.р. Про це далі.

Будь-які машини створюють конструктори, а роблять технологи та робітники. Цикл підготовки документація в 5–6 разів коротший за цикл підготовки виробництва за часом і тим більше за витратами праці та грошей.

Особливостями нинішнього темпу розвитку, і ми так думаємо лише найближчого періоду до 2040 року є цифрова революція, використання штучного інтелекту, розвиток мікроелектроніки та багато іншого. Для нашої країни всі ці питання зараз ми розглядаємо через військове вікно і тому в наступних розділах книги ми змушені були розглядати тенденції розвитку машинобудування з урахуванням насамперед розвитку військового машинобудування. Зазвичай цивільне і військове машинобудування мирно сусідять один з одним доповнюючи один одного і запозичуючи ряд рішень один у одного. Але, в Україні питання ІТ, АІ мікро – та наноелектроніки, робототехніки – це сфера вищих технологій, які ми сьогодні змушені аналізувати через війну.

3. Сучасні та потенційно майбутні технологічні системи

3.1.Склад технологічних систем

Технологічна система – це сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва й виконавців для проведення в регламентованих умовах заданих технологічних процесів або операцій. Виконавець у технологічній системі – це людина, яка здійснює трудову діяльність стосовно безпосередньої зміни й визначення стану предмета виробництва, технічного обслуговування чи ремонту виробу, технологічного оснащення.

На відміну від технологічної системи, технологічний комплекс або технічна система розглядаються без виконавця. До складу технічної системи входять: обладнання, організаційна техніка, включаючи електронно-обчислювальну техніку, метрологічні засоби контролю технологічних параметрів робочого середовища, необхідні види оснащення.

Поділ технологічних систем за різними класифікаційними ознаками регламентовано ДСТ 27.004-85 «Надійність в техніці. Системи технологічні.

Терміни та визначення». В стандарті містяться основні визначення та терміни, що характеризують технологічну систему.

Існує шість рівнів побудови технологічної системи – це технологічна операція, технологічний процес, ділянка, цех, підприємство, галузь.

Технологічна операція (ТО) – закінчена частина технологічного процесу (ТП), що виконується на одному робочому місці й характеризується сталістю предмета праці, знарядь праці та характером дії на об'єкт праці.

Як правило, технологічна операція охоплює всі послідовні дії робітника й устаткування з виготовлення заготовки або її обробки. Тому технологічна операція є основною складовою частиною технологічного процесу. Вона служить основою для визначення трудомісткості обробки, кількості одиниць обладнання, виробничих площ, матеріально-технічного забезпечення.

Розрізняють поняття: «Виробничий процес (ВП)» та «Технологічний процес (ТП)».

Виробничий процес (ВП) – це сукупність дій, в результаті яких вхідні матеріали та напівфабрикати перетворюються в готову продукцію, що відповідає своєму призначенню. Розрізняють основний і допоміжний ВП.

Основні процеси – це процеси, які безпосередньо пов'язані з виготовленням деталей та зі складанням виробів.

Допоміжні процеси – це процеси, що забезпечують можливість виготовлення продукції.

Виробничий процес включає маркетингові дослідження, укладання договорів поставок, підготовку засобів виробництва, організацію та обслуговування робочих місць, отримання й зберігання напівфабрикатів, стадії виготовлення деталей, процеси складання виробу, транспортування заготовок (деталей, виробів), операції зберігання та ін.

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, що включає сукупність технологічних операцій, які виконуються в установленому порядку над однорідними або аналогічними виробами або на певному обладнанні. Іншими словами, технологічний процес – це частина виробничого процесу, що пов'язана з послідовною зміною форми, розмірів, властивостей, зовнішнього вигляду предметів виробництва та їх контролем.

Технологічний процес має свою структуру, здійснюється на робочих місцях із застосуванням засобів виробництва.

У технологічному процесі весь комплекс операцій виконується послідовно й жорстко пов'язаний.

Різниця технологічних процесів обумовлена різноманітністю продуктів виробництва, сировини, вхідних матеріалів, способів виробництва, прийомів і методів роботи та інших чинників.

У виробничій системі визначальна роль належить технологічному процесу, тому що його вдосконалення визначає напрямок і забезпечує перебудову основної частини виробничої системи, а в кінцевому підсумку і вдосконалення самої виробничої системи. При аналізі технології для виділення конкретного ТП з ряду однотипних застосовують параметри ТП (власне температура, тиск та ін.). Для порівняння однотипних ТП застосовують загальні для цього ряду параметри: енергоємність, витрата матеріальних ресурсів на одиницю продукції, продуктивність. Для виявлення закономірностей розвитку ТП застосовують параметри, що характеризуються найбільшою спільністю: витрати живої та минулої праці всередині ТП. Узагальнюючим показником ефективності ТП є собівартість – сукупність матеріальних і трудових витрат.

Удосконалення будь-якого ТП здійснюється за рахунок ефективності використання минулої праці та зниження витрат живої праці.

Вивчення динаміки розвитку ТП проводять на базі елементарного ТП, тобто найменш складного ТП, який при подальшому спрощенні втрачає свої характерні ознаки.

Класифікують технологічні процеси на фізичні, хімічні та комбіновані. Однак може бути класифікація за способом організації процесу, за видом використовуваної сировини, за кратністю її обробки та ін.

За способом організації технологічні процеси розподіляються на періодичні, безперервні та комбіновані. Періодичні, це – виплавка сталі, лиття в форму та ін., здійснюються на обладнанні, яке завантажується вхідними матеріалами через певні проміжки часу, після їх обробки отриманий продукт вивантажується. Безперервні процеси: розливання сталі, переробка нафти, виробництво цементу інше здійснюються в апаратах, де надходження сировини і вивантаження кінцевих продуктів здійснюють безперервно. Комбіновані процеси є поєднанням стадій періодичних і безперервних процесів: поточкові лінії механічної обробки деталей, коксування вугілля, робота доменної печі, тощо.

Найбільш економічним видом технологічних процесів є безперервні, що мають наступні суттєві переваги перед дискретними:

- відсутність простоїв, що викликаються завантаженням вхідних матеріалів і вивантаженням готового продукту;
- можливість максимальної механізації та автоматизації процесу;
- створення сприятливих умов для використання вторинних енергоресурсів, наприклад, тепла відхідних газів методом рекуперації або регенерації;
- поліпшення роботи апаратів, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції в зв'язку з постійністю режиму.

В умовах безперервного технологічного процесу простіше забезпечити сталість заданих технологічних параметрів (температури, тиску та ін.), отже, отримати продукцію більш високої якості. Однак в ряді випадків безперервний процес може виявитися нерентабельним. Використання безперервного процесу зазвичай недоцільно при малих масштабах виробництва, при отриманні дослідних партій та ін. Всі переваги безперервних технологічних процесів відносно до дискретних засновані, головним чином, на співвідношенні часток робочого та допоміжного ходів в технологічній операції.

За кратністю обробки сировини технологічні процеси розрізняють:

- процеси з розімкненою (відкритою) схемою, в якій сировина або матеріал піддається одноразовій обробці;
- процеси з замкнутою (круговою, циркуляційною або циклічною) схемою, в якій сировина і допоміжні матеріали неодноразово повертаються в початкову стадію процесу для повторної обробки, а іноді й регенерації (відновлення втрачених властивостей);
- комбіновані (зі змішаною схемою).

Прикладом процесу з розімкненою схемою є конвертерний спосіб отримання сталі, а процесу із замкнутою схемою – циркуляція спеціальної рідкої суміші для охолодження різця при токарній обробці різанням.

У промисловості застосовують комбіновані процеси, які є поєднанням процесів з відкритою та замкнутою схемою (виробництво сірчаної кислоти нітрозним способом). У таких процесах одні проміжні продукти оксиди сірки обробляють відкритою схемою, проходячи послідовно ряд апаратів, а інші оксиди азоту – циркулюють за замкнутою схемою.

Технологічний процес удосконалюється шляхом вдосконалювання робочих та допоміжних ходів.

Еволюційний шлях розвитку технологічного процесу реалізується вдосконалюванням допоміжних ходів. Це досягається за рахунок механізації й

автоматизації допоміжних процесів, у результаті чого вони прискорюються, скорочуються проміжки між робочими ходами, що призводить до зростання продуктивності живої праці.

Революційний шлях розвитку технологічного процесу реалізується вдосконаленням і, (як правило, заміною) робочих ходів. Це призводить до корінної зміни самого технологічного процесу. В результаті підвищення продуктивності сукупної праці відбувається при одночасному зниженні витрат минулої праці за рахунок зміни або заміни робочого ходу.

Технологічна система, що формується, в основному, із підприємств одного профілю або однієї технологічної спрямованості – це галузь. Галузь є переважно паралельною системою, закриття будь-якого підприємства в галузі не припиняє її діяльності, а лише скорочує, відповідно, обсяги виробництва.

Галузь промисловості характеризуються єдністю економічного призначення виробленої продукції, однорідністю сировини, що переробляється, спільністю технічної бази та професійних кадрів.

Розрізняють галузі господарські й чисті (технологічні).

Об'єднання спеціалізованих галузей визначає комплексну галузь. За дією на предмет праці галузі розподіляють на видобувні та переробні. Наприклад, видобуток природної сировини, а це руда чорних і кольорових металів, вугілля, торф, природний газ, сланці, відноситься до видобувних галузей; металургія чавуну та сталі, кольорових металів і сплавів відноситься до переробних галузей.

При вивченні сутності й особливостей проектування, створення й експлуатації технологічних систем використовуються такі поняття, як підсистема, технологічний комплекс, елемент технологічної системи. Підсистема – це більш проста система, виділена з системи більш високого рівня. Комплекс – сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення для виконання в регламентованих умовах заданих технологічних процесів або операцій. Елемент – це частина технологічної системи, умовно прийнята неподільною на даній стадії її аналізу (пристосування, інструмент, перехід, прохід, позиція).

Система технологій – сукупність технологічних систем, зв'язаних загальною функцією виробництва товарів і послуг, характерних для галузі.

3.2. Напрями розвитку технологій виробництва на сучасному етапі

Спільними рисами і напрямками розвитку сучасних технологій є такі: наукоємність, формування технологічних систем, малоопераційність, маловідхідність й безвідхідність, суміщення – з'єднання технологій з мікроелектронікою.

1. *Наукоємність*, є необхідною передумовою науково-технічного прогресу – основою підвищення ефективності виробництва, вона визначає та підвищує якість продукції.

Поглиблене вивчення об'єктивних законів природи, фундаментальні дослідження, базові та часткові технології вимагають великих витрат. Внаслідок цього наукоємність нових технологій значно зростає, а нові наукові дослідження та нові технології стають можливими тільки для країн з високим науково-технічним потенціалом.

2. Формування технологічних систем, що є *комплексами*, об'єднують різні процеси й засоби для їх реалізації та забезпечують досягнення загальної мети – отримання необхідного продукту (або ефекту) в жорстких рамках зовнішніх умов. Такі розвинені технологічні системи охоплюють не тільки окремі підприємства, а цілі галузі, промислові райони країни, економічні зони. Наприклад, технопарк – це компактно розташований комплекс, що включає наукові установи, вищі навчальні заклади та підприємства промисловості, а також інформаційні, виставкові комплекси, служби сервісу. Функціонування технопарку засноване на комерціалізації науково-технічної діяльності та прискорення просувань в сферу матеріального виробництва. Найвищим проявом інтеграційної тенденції є технополіс.

3. *Малоопераційність*. Характеризується створенням технологій найкоротшим шляхом: чим ближче кожна часткова технологія до базової технології, тим менше робочих місць. Перехід до одноступінчастих процесів можливий завдяки об'єднанню декількох технологічних операцій в одну, або об'єднанню їх в часі виконання без зміни змісту й призначення процесу.

4. *Маловідходність і безвідхідність* – особливо важлива риса сучасних технологій. Економія всіх видів ресурсів, зменшення їх частини в продукті виробництва мають виняткове значення для забезпечення економічної незалежності окремих підприємств, галузі, держави. Маловідхідними технологіями в даний час вважаються технології з відходами менше 10 %, безвідхідними – менше 1,5 %.

5. *Поєднання (з'єднання) технологій з мікроелектронікою.* Це технологічні системи і комплекси з системами автоматичного управління (САУ) на основі мікропроцесорів, що забезпечують нову якість: гнучкі виробничі системи (ГВС), гнучкі інтегровані системи (ГІС), гнучкі автоматизовані системи (ГАС), а також модулі ГПМ і комплекси ЦПК.

Системи «технологія – електроніка» збільшують глибину й оперативність управління, гнучкість технологічної системи, створюють можливість управління в ході процесу.

Мікроелектроніка – напрямок електроніки, що забезпечує мініатюризацію електронних приладів і пристроїв за допомогою інтеграції великої кількості транзисторів та інших електронних компонентів на одному кристалі або в одному корпусі, що, в свою чергу, призводить до зменшення вартості, маси, габаритних розмірів і підвищення швидкодії й надійності електронної апаратури, пристроїв обчислювальної техніки, інформаційних і телекомунікаційних систем.

Еволюція мікроелектроніки викликала бурхливий розвиток обчислювальної техніки, зумовила створення не тільки персональних, але й найпотужніших суперкомп'ютерів, що значно прискорює науково-технічний прогрес. Без виробів мікроелектроніки немислимий і побут людини, який характеризується великим спектром побутових приладів, пристроями мобільного зв'язку, автомобілями та іншими засобами пересування, забезпеченими мікропроцесорами, навігаторами й бортовими комп'ютерами; в майбутньому – створення та експлуатація побутових роботів, «розумних будинків» та ін.

Найважливішими показниками, що характеризують ефективність технологій, є:

- питома витрата сировини, напівфабрикатів, енергії на одиницю продукції;
- кількість корисної речовини, що надходить з одиниці сировини;
- якість та екологічна чистота готової продукції (робіт, послуг);
- рівень продуктивності праці з розрахунку на реальну завантаженість персоналу;
- інтенсивність;
- витрати на виробництво;
- собівартість продукції (робіт, послуг);
- безвідходність технологій.

Основою підвищення ефективності виробництва є *науково-технічний прогрес* (НТП). Рівень досконалості або прогресивності застосовуваних технологій визначається базовою технологією, покладеною в основу, а також технологічними засобами їх реалізацій, що залежать від загального науково-технічного потенціалу країни.

Рівень технології, як і оцінювання будь-якого об'єкту або процесу, є відносним критерієм. Він пов'язаний з соціально-економічними потребами суспільства, станом науки й техніки в даний момент в межах середовища спілкування, тобто пов'язаний зі станом і доступністю інформації щодо предмету оцінювання.

Виходячи з цього, слід розрізняти технології за рівнем:

- *примітивні технології* – на основі найпростіших знарядь;
- *прості послідовні технології* – з використанням простих механізмів, пристосувань з ручними приводами;
- *машинні технології* (рутинні, індустріальні) – на основі верстатів, машин із зовнішніми джерелами енергії або їх перетворювачами;
- *високі технології*, які ще називають «наукомісткими», «прецизійними», «ультрапрецизійними», «тонкими», «нанотехнологіями» та ін., залежні 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. До високих технологій відносяться найбільш наукомісткі галузі промисловості: мікроелектроніка, обчислювальна техніка, робототехніка, атомна енергетика, літакобудування, космічна техніка, мікробіологічна промисловість, тощо.

Склад високих технологій:

- 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 передачі інформації за допомогою радіохвиль. Нанотехнології – це технології, які працюють з різними об'єктами на молекулярному рівні та застосовуються в медицині, біології та промисловості.

Сучасні високі технології базуються на програмному забезпеченні – це комплекс програм, що містять алгоритм виконання дій для комп'ютерів та обчислювальних машин. Іншими словами – це мова спілкування з комп'ютерним світом, що знаходиться в постійному розвитку. Програми діляться на системні, прикладні та інструментальні. Системні програми призначені для управління комп'ютером, в результаті чого комп'ютер знає, як реагувати на натискання клавіші, рух мишкою і вставку диска в дисковод. До системних програм належать: операційна система, драйвери та утиліти. Прикладні програми якби додаються до операційної системи, встановлюються в неї в якості корисних доповнень, але орієнтованих не на управління обладнанням, а на взаємодію комп'ютера з людьми. Це програми для створення документів, обробки електронних таблиць, швидкого відправлення електронної пошти, редагування зображень, прослуховування аудіо й огляду відео, наукових і дослідницьких робіт, усілякого проектування. До простих інструментальних програм відноситься HTML-редактор, що призначений для створення сторінок в Інтернеті.

Системи безпеки – це системи відео-спостереження, управління та контролю доступу, датчики, інтегровані системи безпеки, біометрія, тобто розробки найбільш затребуваних засобів забезпечення безпеки на різних об'єктах.

Навігаційні технології – це технології супутникового дослідження транспорту. Вони впроваджуються в різних галузях машинобудування, ракетобудування, вантажоперевезень, нафтогазової промисловості.

Технології подвійного призначення – це в основному сучасні матеріали, обладнання, науково-технічна інформація, що застосовуються для створення військової техніки, але можуть бути використані й в мирних цілях. Вони призначені для літакобудування, ракетобудування, створення космічних апаратів та ін.

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

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

Соціальні технології – це система практичних знань і способів вирішення завдань з управління соціальною поведінкою людей, які займаються процесами соціального планування й соціального проектування. Ця система займається створенням і зміною соціальних структур. Вона базується на теоретичних розробках деяких соціальних наук – соціології, теорії соціальної організації й управління, психології і розробляє послідовність дій для вирішення соціальних завдань на практиці. Соціальні технології займаються частковими соціальними завданнями, наприклад, завданнями підвищення продуктивності праці; оптимізації відносин в колективі; вдосконаленням 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 заснована інноваційна економіка (економіка знань, інтелектуальна економіка). Прибуток від реалізації високих технологій формується в основному за рахунок інтелекту новаторів і вчених, інформаційної сфери, а не за рахунок матеріального виробництва (індустріальної економіки) і концентрації фінансів (капіталу).

Високі технології можна характеризувати наступними ознаками:

- наукоємністю – новітніми досягненнями, результатами фундаментальних досліджень;
- системністю - взаємозв'язком елементів технологічних систем;
- оптимізаційним моделюванням;
- високоефективними робочими процесами;
- комп'ютерним робочим середовищем, яке автоматизує всі етапи і реалізації;
- стійкістю;

- надійністю;
- гарантованою якістю;
- раціональністю природокористування;
- екологічністю.

Матеріалізація наукових досліджень – пріоритет високих технологій, результатом яких є новий рівень функціональних, естетичних та екологічних властивостей продукції: саме такий рівень при дотриманні економічної доцільності й цікавить споживачів і цим гарантується конкурентоспроможність нових виробів.

Рівень технології оцінюють так:

- продуктивність виробів при однакових властивостях;
- якість виробів при однаковій їх продуктивності;
- отримання нового матеріалу або ефекту.

Цей рівень залежить від фізичних та інших принципів, які визначаються фундаментальними значеннями, тобто станом науки.

Нововведення, як фактор розвитку нових технологій, зазвичай переходить в багаступінчатому складному процесі в інновацію. Ще в 1911 році австрійський вчений Шумпетер І. видалив п'ять типів змін що стосуються нововведень:

- використання нової техніки, нових технологій, нового ринкового забезпечення виробництва;
- випровадження 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.

Відповідно до міжнародних стандартів інновація визначається як кінцевий результат інноваційної діяльності, що одержав втілення у вигляді нового або вдосконаленого продукту, впровадженого на ринку; нового або вдосконаленого технологічного процесу, використовуваного в практичній діяльності; в новому підході до соціальних послуг. Таким чином, неодмінними властивостями інновації є науково-технічна новизна, виробнича застосовність і комерційна реалізованість.

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 новість вже використовується. З моменту прийняття до поширення нововведення одержує нову якість і стає інновацією.

Для успішного управління процесом створення інновацій необхідно розробити класифікацію інновацій та критерії оцінювання ступеня їх новизни. З 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.

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

Інновацію, як результат, необхідно розглядати нерозривно з інноваційним процесом, розвиток якого протікає за такими трьома стадіями: створення, освоєння й поширення інновацій.

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 й після впровадження, оскільки мірою поширення нововведення вдосконалюється, становиться більш ефективним, набуває нових споживчих властивостей. Це відкриває для нього нові області застосування, нові ринки, а отже, й нових споживачів, які сприймають даний продукт, технологію або послугу як нові саме для себе. Таким чином, цей 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 й розвивається.

Кожна з трьох зазначених вище стадій інноваційного процесу: створення, освоєння й 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 за рахунок вкладення 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 з послаблюючим впливом, враховувалися: наявність ринкової ніші, технічні можливості фірми, час окупності вкладень, частка участі в фінансованій фірмі.

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

На стадії фундаментальних досліджень розробляється теорія питання, яка становить фундамент інновації. З практики відомо, що тільки невелика частина – менше 10% фундаментальних досліджень втілюється в нових продуктах чи 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.

На завершальній стадії інноваційного процесу забезпечується комерційна реалізація інновації або новий підхід до соціальних послуг.

Інноваційна маркетингова діяльність заснована на вивченні патентів і ноу-хау, що є джерелом інформації про новітні науково-технічні досягнення, знання яких дозволяє визначити новизну інновацій та прогнозувати напрями й темпи розвитку певних технологій.

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

Таким чином, можна сформулювати основні положення відносно інноваційних технологій.

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

Все розмаїття інновацій можна класифікувати за рядом ознак.

1. За ступенем новизни:

- радикальні (базисні) інновації, які реалізують відкриття, великі винаходи й стають основою формування нових поколінь і напрямків розвитку техніки та технології;
- середні - поліпшують інновації, які реалізують середні винаходи;
- модифікаційні інновації, спрямовані на часткове поліпшення застарілих поколінь техніки та технології, організації виробництва.

2. За об'єктом застосування:

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

3. *За масштабами застосування:*

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

4. *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.

5. *За ефективністю:*

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

3.3. Поєднання виробництва, науки та інновацій

Сучасне машинобудування поєднує виробництво, науки та інновацій.

Прикладом поєднання інновацій і науки в сучасну технологію виробництва може бути інтегрований робочий процес прискореного формоутворення виробу або його прототипу – RapidPrototyping (RP)

Виготовлення моделей і прототипів, необхідних в рамках створення виробу, відбувається, як правило, за допомогою звичайних технологій, при необхідності в комбінації з ливарним виробництвом. Зокрема, тут знаходять застосування NC – фрезерні верстати, копіювальні фрезерні, токарні верстати та ін. Крім цього, ці моделі вручну збирають, склеюють, скріплюють.

Нові етапи розвитку науки, інформатики, техніки CNC, лазерної технології та ін. дозволили перейти до інтегрованих способів прискореного формоутворення, позбутися від декількох фаз створення прототипів, розглянутих раніше.

Суть методу. Інтегрований робочий процес прискореного виготовлення деталей або їх прототипів є органічне поєднання можливостей комп'ютерних технологій обробки інформації та трьохкоординатного моделювання (CAD) і сучасних способів виготовлення. Спосіб дозволяє в часі й просторі поєднати або надзвичайно зблизити конструювання та виготовлення типової або одиничної

моделі (безпосередньо деталі) та скоротити час на їх виготовлення залежно від ступеня складності на 30...70%.

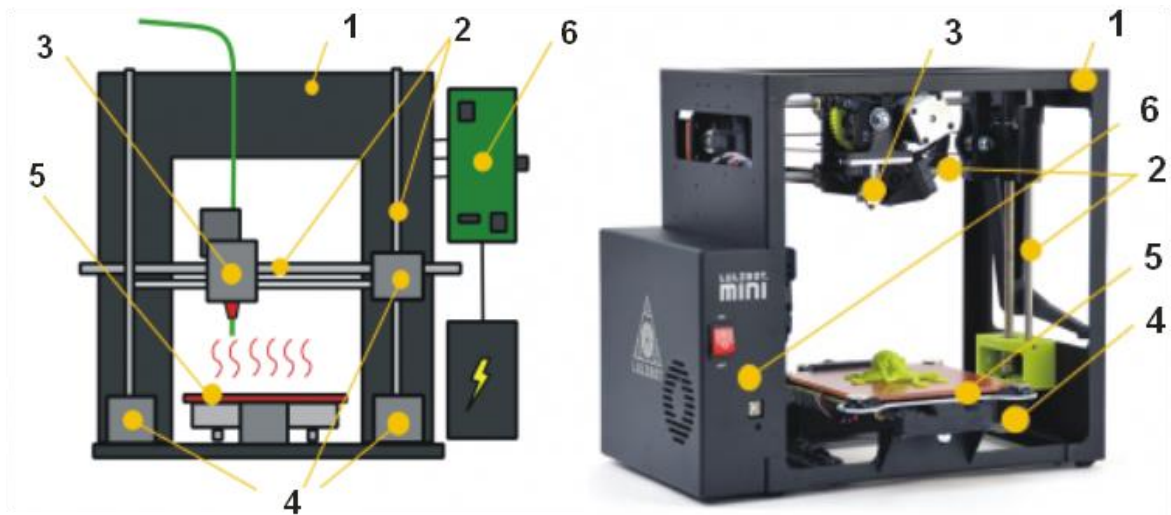
Цей генеративний процес, який отримав назву Rapid Prototyping, зародився близько 30 років тому. Але вже зараз, за даними дослідників, в світі існує приблизно до 2000 установок, що працюють за ідеологією Rapid Prototyping, в яких реалізуються різні принципи. Області застосування даного робочого процесу найширші: машинобудування, авіація, космічні дослідження, автомобілебудування, електроніка, медицина, бізнес та ін. Сьогодні можна стверджувати: сучасні ті галузі, де застосовується Rapid Prototyping (рис. 3.1. ... 3.5.).

Ідеологія прискореного формоутворення виробу моделі, прототипу базується на: можливості комп'ютерного автоматизованого проектування виробу (за кресленням, аналітичним залежностям або результатам вимірювань), комп'ютерної оптимізації його конструкції, виходячи з вимог дизайну, форми, функціональних властивостей (CAD); трансформації трикоординатної моделі в сукупність пошарових двовимірних, двокоординатних моделей; можливості відтворити цю сукупність пошарових моделей, тобто матеріалізувати всю модель єдиним цілим, як твердотельний виріб або його прототип (CAM).

Способи матеріалізації 3D CAD-моделей є найважливішою складовою інтегрованого робочого процесу прискореного формоутворення, виготовлення виробів або їх прототипів, тому що саме 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.

Розроблені до теперішнього часу способи матеріалізації теоретичних моделей різні за багатьма ознаками, технологічними можливостями та ін. Однак всім існуючим способам притаманно багато спільного:

- всі прототипи або вироби виготовляються на основі даних 3D CAD-моделювання;
- всі прототипи або вироби виготовляються пошарово;
- власне виріб чи його прототип отримують не шляхом відділення, зняття припуску з заготовки, а за допомогою нарощування, додавання матеріалу;
- нарощування матеріалу в процесі формоутворення відбувається в перехідній його фазі від рідкого або порошкоподібного до твердого стану;
- виготовлення конструктивного елементу не вимагає форм або інструменту, тому відпадають проблеми, пов'язані зі зносом інструменту в процесі формоутворення різанням, штампуванням, куванням та ін.;



1. Корпус. 2. Направляючі руху. 3. Екструдер. 4. Приводи, що рухають термостыл 5 та екструдер 3. 6. Блок керування
Рис. 3.1. Принципова схема 3D-принтера

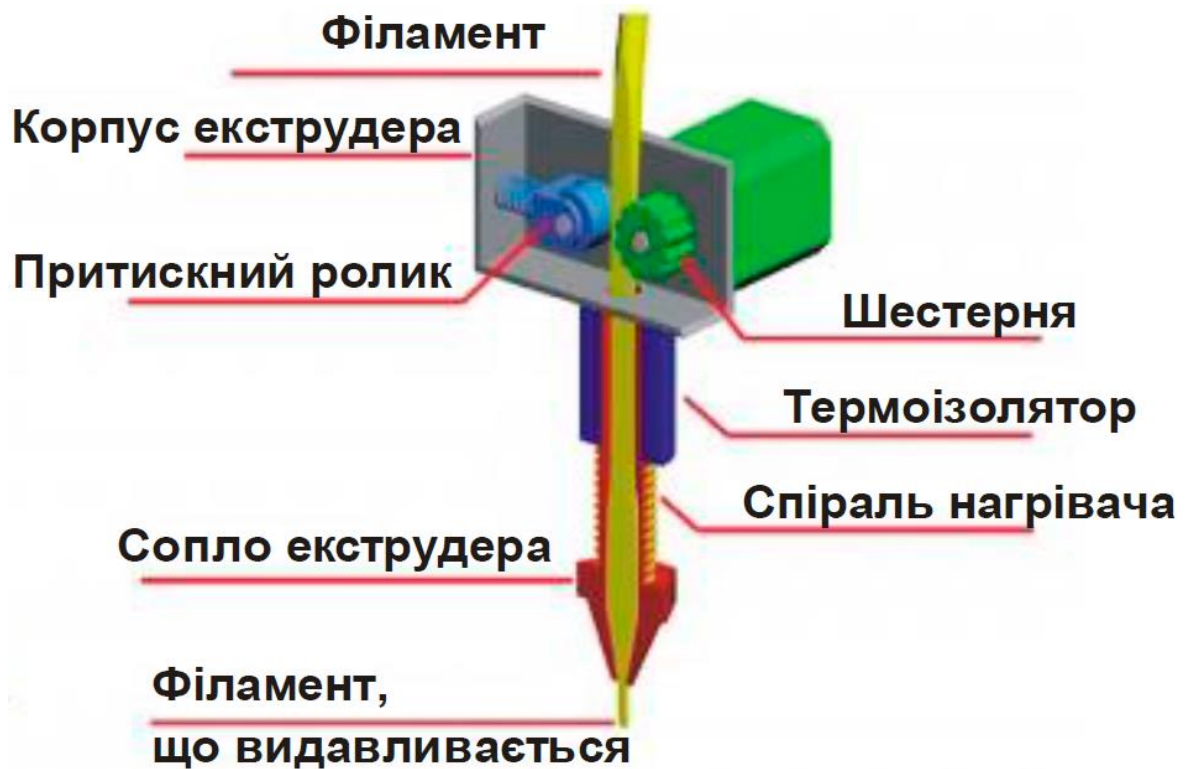


Рис. 3.2 Принципова схема екструдера, який реалізує подачу філоменту у зону друку на 3D принтері

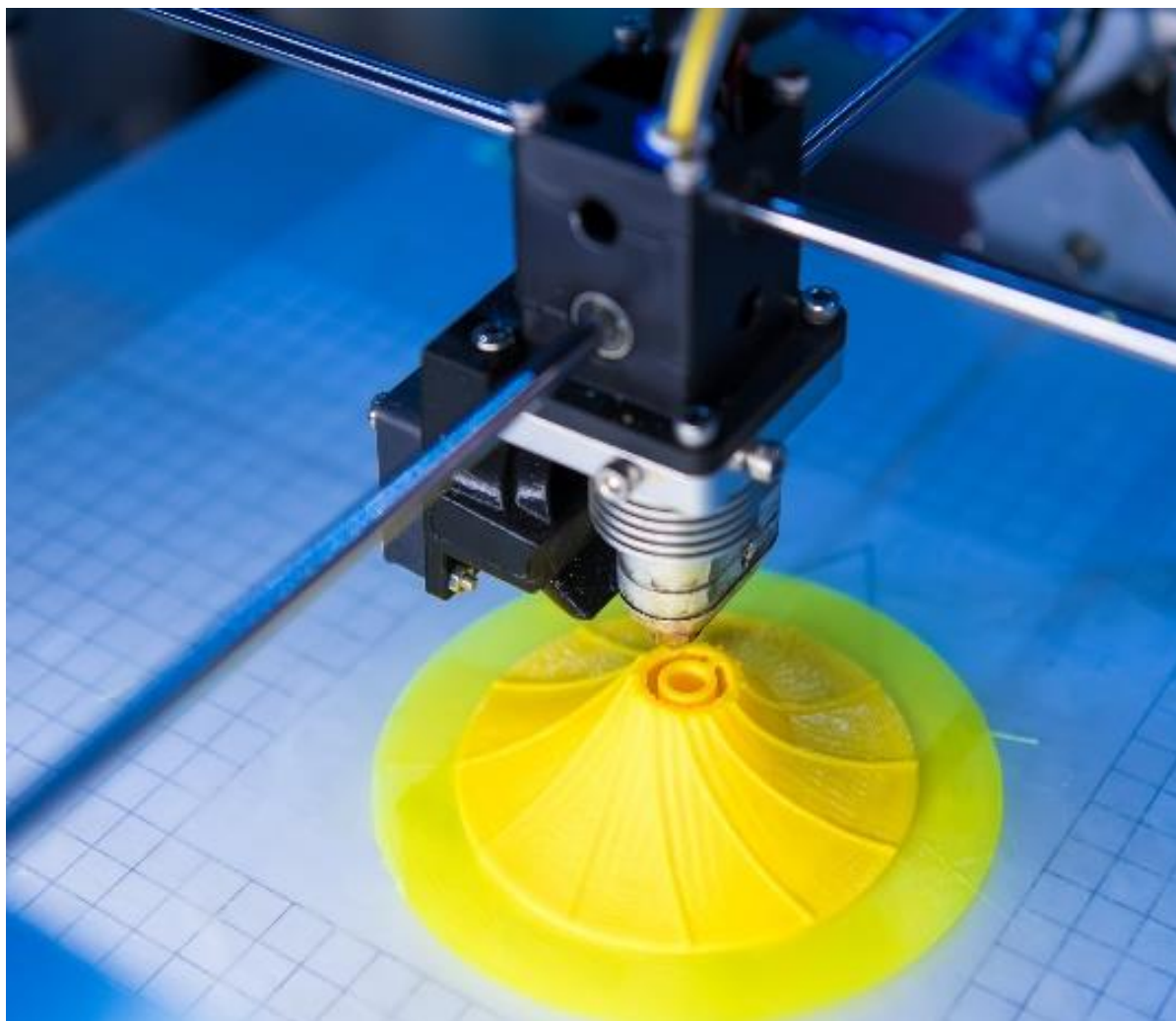
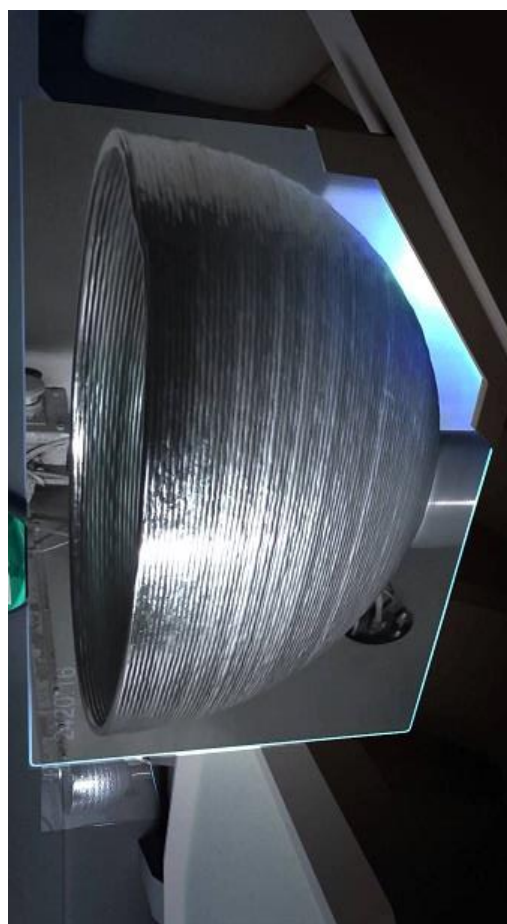
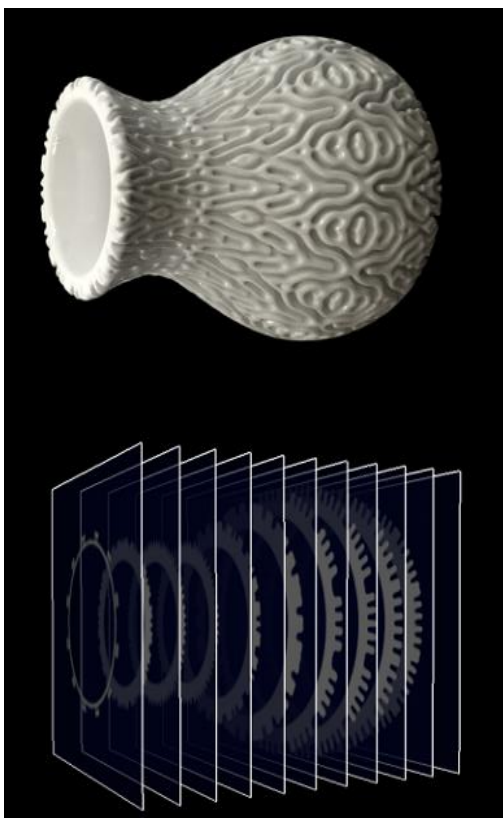


Рис. 3.3. Работа зона 3D-принтера



Рис. 3.4. 3D сканер



а) з металів

б) з полімерів

Рис. 3.5. Вироби, що отримані на 3D-принтері

- відсутність обмежень, пов'язаних зі складністю форми виробу (внутрішні порожнини, складні внутрішні або зовнішні поверхні): чим складніше конфігурація виробу, тим більша перевага процесу;
- різке скорочення витрат часу;
- ефективність всіх способів RP суттєво підвищується при їх комбінації з завершальною технологією виготовлення твердотільних виробів – вакуумне лиття, лиття під тиском та інші його види.

Використовувані способи отримали умовне позначення, що складається з початкових літер слів, які визначають назву способів матеріалізації (RP):

- SL (SLA) – Stereolithography – спосіб стереолітографії;
- SLS (LS) – SelectiveLaserSintering – виборне лазерне спікання;
- LOM – LamenatedObjectManufacturing – виготовлення шаруватих об'єктів;
- FDM – FusedDepositionModeling – моделювання опалюванням;
- SGC – SolidGroundCuring – основний термічний вплив;
- BPM – BallisticParticleManufacturing – виготовлення з використанням балістики;
- DLF – DirectedLightFabrication – виготовлення спрямованим світлом;
- DSPC – DirectShellProductionCasting – пряме блочне виготовлення оболонки;
- MJS – MultiphaseJetSolidification – багатофазне затвердіння струменя;
- 3D-printing – TDP – ThreeDimensionalPrinting – за принципом трьох-координатного глибокого друку.

Ці способи можна класифікувати за ознаками: стан вихідного матеріалу, використання лазерної техніки та ін. Способи можна згрупувати також за марками застосовуваних матеріалів:

- Фотополімери – SLA, SGC;
- Термопласти – SLS, SL, FDM;
- Віск – SLS, SL, FDM;
- Папір, фольга – LOM;
- Кераміка – TDP;
- Метали – SLS, FDM, MJS.

Далі розглянемо принципи і сутність основних із застосовуваних способів матеріалізації тривимірних математичних моделей виробів.

Спосіб стереолітографії (SL). При SL геометричне відтворення деталі здійснюється пошарово дисперсійним твердінням рідкого фотополімеру за допомогою UV-лазера (фотополімеризація). Звичайні товщини шару складають 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 знаходиться на початку обробки безпосередньо під поверхнею полімеру. Промінь лазера, керований комп'ютером, проходить вздовж поверхні рідкого полімеру, «скануючи» її частину відповідно до конфігурації першого шару. Відбувається дисперсійне твердіння цього шару рідкого фотополімеру, після чого платформа носія опускається на величину, рівну товщині твердого шару. Так послідовно відбувається відтворення тривимірної геометрії конструктивного елемента.

SL – метод сьогодні є найточнішим. З його допомогою можна виготовити дуже складні геометричні поверхні з внутрішніми порожнечами й найтоншими стінками і отворами в субмікрооб'ємах.

Стереолітографія пов'язана з фотополімерами, а значить, світлочутливі властивості, що стосуються цього, домінують над усіма іншими властивостями матеріалу, такими як твердість, еластичність, температурна стійкість.

SL – метод не тільки найточніший та найвідоміший RP-метод, але й найбільш поширений в світі: 50 % всіх RP-пристроїв припадає на стереолітографію.

12 лютого 2023 в інтернеті з'явилась інформація про найменший у світі 3D принтер розміром 18x31x41 мм та масою 17г, який працює за способом SLA.

Твердий шар коливається в діапазоні 0,005 мм до 0,3 мм.

Точність виробів 0,135 мм.

З ціллю реклами на ньому надрукували міні роботів, як частину іграшки.

Зворотній приклад – на 3D принтерах формують частини будівельних конструкцій, які використовують при будівництві осель, складів, тощо. Тобто діапазон використання SL – методу дуже поширений.

Типовими прикладами для способу SL є корпусні деталі. Складні тонкостінні вироби виготовляються з високою точністю та якістю.

Прототип служить для перевірки конструкції, перевірки ергономіки та дизайну, виробництва і монтажу, а також для комунікації, аргументації під час переговорів з підприємствами-постачальниками. Раніше виготовлення зразків деталей звичайними методами побудови моделей займало кілька тижнів, а завдяки застосуванню SL цей термін скорочується в 8 разів. Повний процес виробництва конструктивного елементу (КЕ) включає очищення, остаточне загартовування та ручне доопрацювання.

3.4.Пріоритетні напрямки розвитку технологій

Розвиток підприємств і машинобудівних веж базується на технологічних укладах.

3.4.1. Технологічні уклади

Технологічний уклад – це історичний підхід до розгляду технологічних процесів від моменту їх виникнення до моменту повного припинення використання.

Перший технологічний уклад домінував в період 1790 – 1830-х рр. Технологічними лідерами були Великобританія, Бельгія, Франція. Ядром технологічного укладу стали: текстильна промисловість, текстильне машинобудування, виплавка чавуну, водяний двигун. Ключові фактори: водяний двигун і текстильні машини. Основні переваги: механізація виробництва та його концентрація на фабриках, які забезпечують зростання масштабів виробництва й продуктивності праці.

Другий технологічний уклад домінував в період 1840 – 1880-х рр., технологічними лідерами були Великобританія, Франція, Бельгія, Німеччина та США. Ядром технологічного укладу стали: паровий двигун (пароплави, паровози), залізничне будівництво, машинобудування, верстатно-інструментальна промисловість, вугільна та металургійна промисловості. Ключовим фактором став паровий двигун. Основні переваги другого технологічного укладу порівняно з першим технологічним укладом: зростання масштабів і концентрація виробництва на основі механізації праці з використанням парового двигуна.

Третій технологічний уклад поширився в період 1890 – 1940-х років. Технологічними лідерами були Німеччина, США, Великобританія, Франція, Бельгія, Швейцарія, Нідерланди. Ядро технологічного укладу: виробництво сталі, електроенергії, неорганічної хімії, електротехнічне та важке

машинобудування, кораблебудування. Ключові фактори: електродвигун, сталь масового застосування. Основні переваги порівняно з другим технологічним укладом: підвищення різноманітності й гнучкості виробництва на основі використання електродвигуна.

Четвертий технологічний уклад діяв в період 1940 – 1980-х років. Ядром технологічного укладу стали: двигун внутрішнього згоряння, електроніка, хімізація, «зелена революція», електронні обчислювальні машини, банки даних, нафто-вугільна та атомна енергетика.

П'ятий технологічний уклад – це наше вчора та сьогодні, його період 1980–2020-ті роки. Ядром технологічного укладу стали: мікроелектроніка, біотехнологія мікроорганізмів, персональні комп'ютери, Інтернет, робототехніка, нафтогазова та атомна енергетика.

В даний час отримав розвиток і шостий технологічний уклад, ядром якого стали: нанотехнології, ракетно-космічна техніка, тонка хімія, генна інженерія, біотехнології рослин і тварин, глобальні інформаційні мережі, нові джерела енергії (на основі водневих і термоядерних технологій), альтернативна енергетика в т.р. воднева (рис. 3.6.).

Як видно, перший технологічний уклад утворився під впливом промислової революції. Його ключовим чинником були ткацькі машини, а ядром – водяний двигун, виплавка чавуну, обробка заліза, будівництво каналів. Одночасно в цьому укладі зароджується другий технологічний уклад у вигляді парових двигунів і машинобудування. Це забезпечило створення паровозів, пароплавів, а значить, будівництво залізниць, суднобудування, розвиток вугільної та металургійної промисловості.

У надрах другого технологічного укладу зароджується третій уклад – виробництво сталі, електроенергії та неорганічної хімії. Ключовим фактором цього укладу став електродвигун, що зумовило розвиток електротехнічного та важкого машинобудування, виробництва неорганічної хімії.

Провідним чинником четвертого укладу стали двигун внутрішнього згоряння та нафтохімія. У цьому укладі народжуються автомобілебудування, кольорова металургія, авіаційна промисловість, видобуток і переробка газу.

Ключовим чинником п'ятого укладу стали мікроелектронні компоненти. Вони визначили розвиток таких галузей, як електроніка, обчислювальна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації, роботобудування, біотехнології.

авіа-, судо-, автомобіле-, приладо-, верстатобудування сонячна енергетика



Рис. 3.6. Структура нового VI технологічного укладу



Рис. 3.7. Наукомісткий виробничий комплекс

Таким чином, перші чотири технологічні уклади є формою індустріальної технології, розвитку машинного виробництва. П'ятий уклад визначає вищу ступінь технології, коли інформація та знання стали новим чинником виробництва. Він є матеріально-технологічною основою переходу людства до вищої стадії цивілізаційного прогресу – інформаційного-постіндустріального суспільства. П'ятий технологічний уклад триває до 2020 р., а далі з'являється шостий технологічний уклад, до якого відносять біотехнологію, ракетно-космічну техніку, тонку хімію та ін. Як видно, це досягається шляхом вилучення цих технологій з п'ятого технологічного укладу. Тому шостий технологічний уклад мало чим принципово відрізняється від технологій п'ятого укладу. Отже, й для виділення його в новий уклад мало підстав. Однак вчені припускають в найближчі десятиліття швидкий розвиток біотехнологій та генної інженерії, нанотехнологій, мембранних і квантових технологій. Подорожчання та неминучий дефіцит вуглеводневої сировини вимагає винайдення нових джерел енергії, перш за все, в водневих і термоядерних технологіях. Хоча й тут мають місце біотехнології, як і в п'ятому укладі, але, напевно, суспільство зараз перебуває на початковій стадії цього науково-технічного напрямку й тому тут закладено великі можливості. Вони можуть бути реалізовані в найближчому майбутньому, що зробить шостий технологічний уклад реальністю.

Отже, технологічні уклади – це комплекси, що відображають історичний ступінь розвитку індустріального технологічного способу виробництва. Перехід від парового до електричного двигуна, як більш досконалого та ефективного, визначило формування третього технологічного укладу, сенс якого полягав у перетворенні електроенергії на основний двигун розвитку всієї економіки. Двигун внутрішнього згоряння став ключовим чинником розвитку четвертого технологічного укладу, представленого автомобілебудуванням, кольоровою металургією, нафтохімією, становленням масового й серійного виробництва.

Паровий двигун, електричний двигун, двигун внутрішнього згоряння – це етапи в удосконаленні енергетичної основи індустріального виробництва.

П'ятий технологічний уклад – електронні вироби, комп'ютери, обчислювальна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації та багато іншого – це вже, за суттю, не традиційна індустріальна техніка та не машини в прийнятому розумінні, а засоби нового типу, які працюють не механічно, а на основі команд людини. Завдяки вбудованому в цих засобах мікрокомп'ютеру на напівпровідникових кварцових кристалах з інтегральною схемою, вони наділяються власною пам'яттю, що дозволяє здійснювати певні операції й

управляти ними. Нова комп'ютерна техніка, будучи створеною людиною, його розумом, набагато значніше розширює масштаби й обсяги виконуваних операцій, що не під силу людині.

Прискорення науково-технічного прогресу, особливо починаючи з другої половини XX століття, зумовило швидкі зміни в техніці та технології, поглиблення взаємодії й взаємопроникнення технологічних укладів, скорочення життєвого циклу технологічних укладів до 40 років і менше.

З цього можна зробити висновок, що технологічний уклад – це техніко-технологічний комплекс, який функціонує на основі технології, яка є особливою в межах єдності технологічного способу виробництва, тобто це комплекс галузей, споріднених єдиними технологічними принципами. Виходячи з наведеної історії розвитку технологічних укладів, цей процес характеризується певними особливостями:

- технологічна багатouкладність є характерною рисою техніко-економічних систем;
- поєднання еволюційного розвитку з революційними, стрибкоподібними технологічними нововведеннями, які охоплюють різні галузі економіки, призводить до поширення нових більш продуктивних технологій і визначає утворення та розвиток нового технологічного укладу. Інакше кажучи, в процесі розвитку технологічних укладів постійно зникають технологічні кордони й технологічні розриви, безперервний поступальний розвиток змінюється різкими стрибками, переходом до якісно нової технології, в кінцевому підсумку – до нового технологічного укладу;
- для розвитку технологічних укладів характерно поступально-циклічне зростання, при якому кількісні зміни переходять в якісні, які відкривають нові можливості кількісних змін з подальшим переходом в нову якість. Накопичення капіталу та зміна поколінь техніки й технології зумовлюють нерівномірний розвиток ринкової економіки, її циклічний характер, що диктує необхідність досягнення макроекономічної рівноваги. Тому розвиток технологічних укладів відбувається згідно малих і великих хвиль, тобто великих і малих циклів, виявляється в безперервному коливанні ринкової кон'юнктури, оскільки матеріальною основою промислового циклу є оновлення та розширення основного капіталу. Періодичні кризи, коли відбувається спад виробництва, його депресія, а потім поступово наростаючи, поновлення капіталу за рахунок застосування нової техніки та технології, визначають спочатку пожвавлення, а потім і підйом економіки.

Економічна криза найсильніше вплинула на високотехнологічні галузі економіки, електронну промисловість, радіопромисловість та ін. Незважаючи

на те, що вже кілька років відбувається економічне зростання, воно має місце не в передових, високотехнологічних галузях, а навпаки, в галузях, що відносяться до третього та в незначній мірі четвертого технологічних укладів. В результаті особливого прогресу в електро- та радіопромисловості не видно. Одночасно достатньо різко зросла частка металургійної та хімічної промисловості. У зв'язку з цим чітко проглядаються невідкладні завдання щодо переходу нашої економіки на інноваційний шлях розвитку за рахунок всебічного вдосконалення третього та особливо четвертого технологічних укладів й прискореного розвитку п'ятого укладу, створюючи паралельно шостий уклад.

3.4.2. Наукоємність технологій

Роль науки в розвитку сучасного суспільного виробництва настільки зростає, що її все частіше вважають продуктивною силою. Це відбувається тоді, коли наука відокремлюється в самостійну сферу діяльності з особливим професійним складом працівників, зі своєю специфічною матеріально-технічною базою та кінцевою продукцією.

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

Під *технологією* розуміється сукупність методів і прийомів, що застосовуються на всіх стадіях розробки й виготовлення певного виду виробів. *Наукомісткість* – це один з показників, що характеризує технологію та відображає ступінь її зв'язку з науковими дослідженнями й розробками (ДР). *Наукомісткою* називають технологію, яка включає обсяги ДР, що перевищують середнє значення цього показника технологій в певній галузі економіки, наприклад, в обробній чи видобувній промисловості, в сільському господарстві або в сфері послуг.

Галузь господарства, в якій переважне, ключове значення відіграють наукомісткі технології, відноситься до наукомістких галузей. У літературі найчастіше розглядаються наукомісткі технології в галузі обробної промисловості. Наукомісткість галузі зазвичай визначається як відношення витрат на ДР до обсягу

збуту. Використовується й інший показник – відношення до обсягу збуту чисельності вчених, інженерів і техніків, зайнятих в галузі. Нарешті, *наукомісткою продукцією* є вироби, в собівартості або в доданій вартості яких витрати на ДР вищі, ніж в середньому по виробках галузей даної сфери господарства.

Терміни й поняття, які стосуються наукомістких технологій, галузей і виробів, ще не устоялися, вони не стандартизовані, як не стандартизовані й методики визначення такого показника.

Новизна поняття «*наукомісткість*» пояснюється тим, що сам процес інтеграції науки з виробництвом за історичними мірками почався десь в 70-х роках ХХ століття, коли навіть найбагатшим країнам грошей на підтримку 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 в ХХ столітті основну частку економічного зростання в промислово розвинених країнах (~80 %), – 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 та техніки за експоненціальним законом. Але протягом тривалого часу цього не може дозволити собі жодне підприємство або галузь, жодна держава, та й все міжнародне співтовариство.

У кожній галузі відповідно до її особливостей складається свій баланс витрат, що забезпечує стійке прибуткове господарювання. Тому порушення його загрожує неприємностями. У складі зазначеного балансу є стаття витрат на ДР. Обсяг цих витрат залежить від обсягів виробництва, а, головне, від обсягів збуту продукції. Так, в середині 80-х років ХХ століття 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 %, в паперовій промисловості – 1 %, в металургії – 0,5 %, а у фармацевтичній промисловості – 8 %.

Держава виділяє на підтримку науки певну частку свого валового виробничого продукту (ВВП). У розвинених країнах протягом останніх десятиліть ХХ століття ця частка становила від 1 до 3 % залежно від країни (табл. 3.1) [3]. Це означає, що для того щоб збільшити фінансування науки на 1 млрд. потрібно, щоб національний ВВП збільшився приблизно на 40 млрд. Наприклад, в США в 1964 році витрати на науку становили 2,88 % від ВВП, в 1978 році вони зменшилися до 2,13 %, а в 1998 році дорівнювали 2,67 %. Таким чином, наукомісткість національної економіки в цілому, окремої галузі

господарства або групи галузей всередині сфери виробництва або сфери послуг може бути стабільним показником, що характеризує певні особливості об'єкта, до якого він належить.

Таблиця 3.1

Витрати промислово розвинених країн на науку в 2000 році

Країна	Витрати на науку	
	% від ВВП	на душу населення (дол. США)
Великобританія	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 років організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), куди входять всі передові промислово розвинені країни, виконала детальний аналіз прямих і непрямих витрат на ДР в 22 галузях промисловості 10 країн: США, Японії, Німеччині, Франції, Великобританії, Канаді, Італії, Голандії, Данії та Австралії. У розрахунках враховували витрати на науку, чисельність вчених, інженерів і техніків, обсяг доданої вартості, обсяги збуту продукції, частку кожного сектора в загальному обсязі виробництва 10 країн. При визначенні непрямих витрат використовувався апарат так званої «виробничої функції». В кінцевому рахунку до наукомістких було віднесено чотири галузі: аерокосмічну; виробництво комп'ютерів і конторського обладнання; виробництво електронних засобів комунікацій; фармацевтичну промисловість.

Слід зазначити високі темпи зростання, які ці галузі демонстрували в останні десятиліття минулого століття та продовжують демонструвати в даний час. У період з 1980 – 1997 рр. середнє річне зростання обсягів наукомісткого промислового виробництва в світі становив, з поправкою на інфляцію, 6,2%, тоді як в інших обробних галузях він становив 2,7%. Особливо інтенсивно наукомісткі галузі розвивалися в 1994 – 1997 рр. Річне зростання у ці роки перевищувало 11%, в чотири рази більше, ніж у інших галузях обробної

промисловості. У 1980 році наукомістка продукція становила 7,1% обсягу світового випуску продукції, а в 1997 році частка наукомісткої продукції досягла 11,9%.

Найбільш інтенсивна структурна перебудова промисловості на користь наукомістких галузей відбувалася в двох групах країн. Першу групу склали визнані технологічні лідери – США, Японія та Великобританія, а другу – дві азіатські країни з числа нових індустріальних – Південна Корея та Китай. За 1980-ті роки частка наукомістких галузей в промисловому виробництві США та Великобританії зросла з 9 до 11 %, а за 1990-і роки піднялася до 14,7% в США та до 12% у Великобританії. В Японії в 1980 році цей показник дорівнював 8%, а в 1997 році досяг 15,7%. За той же період в Китаї він склав, відповідно, 7 % й 14,8 %, а Південна Корея до 1997 року наздогнала в цьому відношенні Японію – 15,8%. Це майже вдвічі більше, ніж у Франції чи Німеччині, де частка наукомістких галузей до кінця 1990-х років дорівнювала приблизно 8%, але й 8% – це достатньо високий показник. Таким чином, наукомісткі галузі вносять вагомий внесок в промислове виробництво в цілому, і внесок цей зростає, причому зростає випереджаючими темпами по відношенню до інших галузей промисловості.

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

З інноваційним потенціалом наукомістких галузей пов'язана ще одна їх 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 доводиться майже 50 % зайнятості в приватному секторі й половина національного внутрішнього продукту. Звичайно, далеко не всяке нововведення

малим фірмам «по плечу». Вони не можуть, наприклад, створити космічний корабель, інший який-небудь великий об'єкт, вести фундаментальні ДР в області 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, виконувати лабораторні дослідження в галузі біотехнології та інші роботи малі фірми можуть навіть краще, ніж великі.

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 з основних «двигунів прогресу», а тому й об'єктом особливих турбот державної адміністрації всіх рівнів, що надає йому всіляку допомогу в вигляді податкових пільг, безвідсоткових, а то й безповоротних кредитів, технічних консультацій, курсів навчання маркетингу та ін.

В силу всіх розглянутих вище особливостей 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 й продажів, між основними виробниками наукомісткої продукції йде гостра конкурентна боротьба за ринки збуту як в масштабах окремих країн, так і на світовій арені, де наукомісткі галузі виступають провідною силою настільки актуальних сьогодні процесів економічної глобалізації.

3.4.3. Вплив науки на розвиток технологічної системи

Успіхи сучасної техніки в першу чергу залежні від розвитку науки. Технічні нововведення базуються на науково-технічних знаннях. Але не слід забувати, що й техніка ставить перед наукою все нові й нові завдання. Невипадково рівень розвитку сучасного суспільства визначають досягнення науки та техніки.

З функціонально-виробничої точки зору для нинішнього етапу науково-технічного прогресу характерні такі риси:

- наука перетворюється на провідну сферу розвитку суспільного виробництва;
- якісно перетворюються всі елементи продуктивних сил: виробник, знаряддя й предмет праці;

- інтенсифікується виробництво завдяки використанню нових, більш ефективних видів сировини й способів її обробки;
- знижується трудомісткість за рахунок автоматизації та комп'ютеризації, підвищення ролі інформації та ін.

З соціальної точки зору сучасний науково-технічний розвиток викликає потребу в людях з високим рівнем загальної та спеціальної освіти, в координації зусиль вчених на міжнародному рівні. Сьогодні витрати на наукові дослідження настільки великі, що далеко не всі можуть дозволити собі розкіш вести їх поодиночі. До того ж такі дослідження часто виявляються безглуздими, тому що їх результати дуже швидко масово тиражуються й не служать для авторів довгостроковим джерелом надприбутків. Однак автоматизація та кібернетизація звільнюють і час працівників, і саму робочу силу. З'являється новий вид виробництва – індустрія дозвілля.

З суспільно-функціональної точки зору сучасний етап науково-технічного прогресу означає створення нової бази виробництва та нових технологій, хоча систему продуктивних сил як і раніше становлять «людина – техніка – навколишнє середовище».

Основним призначенням прикладних наук є дослідження дійсності з метою застосування результатів цих досліджень в різноманітних сферах практичної діяльності людини за допомогою технологій. Технологія – суть застосування наукових знань на практиці з метою виробництва предметів споживання, з метою зміни, вдосконалення та контролювання умов життя.

Необхідно уявляти відмінність між поняттями «технологія» та «технологічна система». *Технологія* – результат розумової діяльності в сфері інформації, а *технологічна система* – результат діяльності, наприклад, в сфері матеріальних об'єктів тобто в сфері маси й енергії. Якщо *елементарна технологічна система* базується на технологічних операціях (прийомах, способах, методах), то *технологічна система виготовлення товару* (система більш високого рівня) базується вже на різних, але взаємопов'язаних технологічних процесах. Розробник нової технології працює в сфері абстракції, хоча він й пов'язаний з діяльністю в матеріальній сфері. Розробник технологічної системи повинен розробити чітку однозначну основу для виробництва конкретного товару.

Технологія детермінує розвиток техніки, є провідною стороною в цьому процесі. Функціонування техніки призводить до раніше намічених змін в технологічному розвитку. Технологія тісно пов'язана з іншими науками. Вона

об'єднує математику, фізику, хімію, біологію, техніку, економіку, політику, управління та ін. Технологія базується на об'єктивних законах, розвивається адекватно природі. Можна виділити два основних напрями її розвитку: проникнення в глибину матерії (нанотехнології) та вихід на різні рівні управління виробничими системами, альянсами, державами. Нові технології, що розроблені в результаті використання досягнень фундаментальних наук – фізики, хімії, біології, а це наукомісткі технології, допомагають розвивати нове високоефективне технологічне оснащення з новими функціями. Техніка допомагає розвивати науку, а наука допомагає розробляти нові наукомісткі ефективні технології.

Таким чином, технологія детермінує розвиток техніки з одного боку, а функціонування техніки, з іншого боку, викликає заздалегідь намічені зміни в технологічному розвитку.

Принципово нова техніка – це техніка, в якій для створення товару з предметів праці використовуються новітні досягнення науки, фізико-технічні, хімічні, біологічні та інші методи, які раніше не використовувалися. Як правило, така техніка різко підвищує продуктивність праці й часто використовується в процесі проведення наукових досліджень, є фундаментом для нових наукових досягнень і появи нових, більш ефективних технологій.

Розвиток технології як науки поділяють на *чотири етапи*.

На першому – ранньому етапі свого розвитку поняття сутності технології можна подати описанням технологічних операцій без чіткого обґрунтування вибору того чи іншого способу їх реалізації. Наука на цьому етапі носила описовий характер. Вибір технологічних операцій та їх послідовності здійснювався тільки на основі порівняння різних варіантів.

На другому – наступному етапі, крім описання 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 отриманих результатів.

Третій 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 в різних галузях промисловості; з'явилася можливість розраховувати розміри,

продуктивність та інші характеристики устаткування. З огляду на суперечливість вимог до технологічного устаткування за споживаною енергією, його вартістю та продуктивністю, переважаючий варіант вибирався на основі практичного досвіду.

На сучасному етапі розвитку технологія як наука використовує всі сучасні підходи: формалізовані закономірності процесів, що протікають, та явищ, методи математичного моделювання, оптимізації та ін. Це дозволяє знайти таке об'єднання технологічних рішень, що забезпечує отримання готового продукту заданої якості з найменшими витратами, оскільки, спираючись на методи математичного моделювання та статистики, забезпечується вибір оптимального, найкращого варіанту умов функціонування технологічної системи (операції, ділянки, технологічної лінії, цеха, підприємства).

Народження нових технологій завжди носило революційний характер, але, з іншого боку, технологічні революції не знищували класичних традицій. Кожна попередня технологія створювала певну матеріальну й культурну базу, необхідну для появи наступної. Кожна зміна поколінь засобів інформаційної техніки та технології вимагає перенавчання й радикальної перебудови інженерного мислення фахівців, зміни надзвичайно коштовного технологічного устаткування та створення все більш масової обчислювальної техніки. Це встановлення постійних еволюційних темпів має достатньо загальний характер, тим більше, що передова область техніки та технології визначає характерний ритм часу технічного розвитку в цілому.

Інформаційна технологія має інтегруючу властивість відносно як до наукових знань в цілому, так і до всіх інших технологій. Вона є найважливішим засобом реалізації так званого формального синтезу знань. В інформаційних системах на комп'ютерній базі відбувається своєрідний формальний синтез різнорідних знань. Пам'ять комп'ютера в таких системах є як би енциклопедією, яка увібрала в себе знання з різних областей. Ці знання тут зберігаються й обмінюються в силу їх формалізації. Розширення можливостей програмування якісно відмінних знань дозволяє очікувати в найближчій перспективі суттєву раціоналізацію та автоматизацію наукової діяльності. Разом з тим, впровадження науки як фундаментальної основи в сучасні технології вимагає такого обсягу та якості розрахунково-обчислювальної діяльності людини, які можна здійснити тільки сучасними комп'ютерами.

Револьюційна 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. Так, механічна обробка металу різанням відтісняється методами точного лиття, тиску, порошкової, плазмової та лазерної технологій, термічного зміцнення. Приклади револьюційної форми НТП: перехід від мартенівського до конвертерного методу виплавляння сталі, використання енергії атомного ядра, отримання штучних алмазів та ін. Подібні технічні зрушення вимагають кардинальної заміни виробничого обладнання та матеріалів, переходу до нових технологій і форм організації виробництва. НТР – це ривок в розвитку технології переробки та перетворення інформації, енергії та речовин, що базується на освоєнні нових структурних рівнів організації матерії, форм її руху. Серед базових технологій виділяють фізичні, хімічні та біологічні. В ході наукового прогресу посилюється взаємозв'язок наукового, технічного й технологічного процесів.

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

Новим револьюційним технологічним системам, які приходять на зміну існуючим, багато в чому некомплексним та неавтоматизованим технологіям, притаманні нові риси, викликані сучасним етапом НТР. Прогрес йде в напрямку виникнення малоопераційних технологій, коли на основі використання нових наукових принципів вдається створити необхідний виріб при значно меншій, ніж раніше, кількості операцій. На місце багатьох операцій різання в машинобудуванні приходять малоопераційні процеси деформації металу. Завдяки новим каталізаторам різко скорочується кількість стадій у багатьох хімічних виробництвах. Так, наприклад, в роторно-конвеєрних лініях об'єднуються операції обробки й транспортування виробів та ін.

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 різко підвищує ефективність готової продукції, призводить до її більшого розмаїття й пристосування виробництва до запитів споживача.

Ще одна важлива властивість сучасних технологій – це їх маловідходність та безвідходність, що важливо як для зростання ефективності виробництва, так і для збереження навколишнього середовища.

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

Комп'ютеризація докорінно змінює інформаційні функції, перетворює інформатику в новий ресурс і в елемент технологічного процесу, в один з найважливіших чинників підвищення продуктивності праці. Вона широко впроваджується в невиробничу сферу, вносить радикальні зміни в управління суспільними процесами.

Корінні зрушення в характері предметів праці пов'язані, перш за все, з досягненнями хімії та фізики твердого тіла, а також біології. Створюється величезна кількість штучних і синтетичних матеріалів з 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 в області технології є перехід від механічної обробки матеріалів до використання форм руху матерії на молекулярному, атомному та субатомному рівнях, завдяки чому змінюється сама структура речовини. Йдеться про такі технології, як хімічна, лазерна, нанотехнологія, пряме перетворення теплової енергії в електричну, біотехнологія та генна інженерія.

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

Важлива особливість науково-технічної революції в тому, що вона призводить до зміни положення людини в системі виробництва, пред'являє до неї якісно нові, більш високі вимоги. Працівник, який колись був безпосередньо включений в 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, відношенню до справи.

Науково-технічна революція є якісним стрибком у вивченні законів природи та їх використанні. Цей стрибок має тісний зв'язок з перетворенням науки в величезну високоефективну виробничу силу суспільства, яка в першу чергу спрямовує швидкий розвиток галузевих наук і впровадження їх досягнень у суспільне виробництво.

Для XX-го століття властиво величезне прискорення наукових знань і впровадження їх в техніку та виробництво. Наприклад, якщо на початку XX-го століття фундаментальні дослідження науки впроваджувалися в життя через 20 років, то зараз вони впроваджуються в практику виробництва через 3...4 роки. Вважають, що наука надає суспільству підвищення національного прибутку до 50%. Раніше впровадження технічних новинок сприяло підвищенню продуктивності праці на 5...20 %, зараз від цього 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:

- величезне зростання енергетичної бази суспільства на основі прискореного розвитку атомної енергетики, а також тепло- та гідроенергетики;
- всіляке удосконалення знарядь праці на основі комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів;
- впровадження нових виробництв і, в першу чергу, полімерних матеріалів, а також удосконалення традиційних матеріалів;
- широке використання принципово нових технологій (хімічної, електрохімічної, лазерної тощо);
- перетворення сільського господарства в індустріальне виробництво;
- швидке впровадження сучасних засобів обробки інформації за допомогою електронно-обчислювальних машин;
- прискорення впровадження сучасних досягнень науки та техніки в галузі транспорту й невиробничій сфері.

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

виробництва, вдосконалення виробництва в будівельній індустрії, машинобудуванні та ін.

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

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

Значення важливих галузей в розвитку господарства визначається у властивій їм індивідуальності в 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 та ін.

Хімічна промисловість проникає в наш час практично в усі галузі громадського господарства тому, що дуже багато полімерів хімічного виробництва є замінниками металів, які не поступаються їм за службовим властивостям. Продукція хімічної промисловості широко використовується в сільському господарстві при виробництві добрив, знищенні бур'янів і шкідників, комах, для прискорення росту й захисту рослин і тварин. Вироби з штучного каучуку широко використовуються в автомобільній, авіаційній, машинобудівній та в інших галузях. Різні кислоти необхідні для виготовлення хімічних препаратів та отримання полімерних матеріалів, штучних волокон і тканин, які мають широке поширення в техніці й побуті. Вироби з полімерних смол і пластмас також мають широке поширення в побуті й техніці.

Будівельна промисловість зараз займає одне з провідних місць в громадському господарстві. Виготовляють величезну кількість цементу й цегли, бетону та залізобетону для будівництва споруд промислового й побутового призначення. Величезні будівлі електростанцій, заводів, фабрик, а також житлове будівництво перетворили будівельну галузь в одну з найбільш розвинених галузей суспільного господарства, в якій зібрано потужні деревообробні, цементні, цегельні, шиферні, смолопереробні та інші виробництва. Цілорічне будівництво породило домобудівні комбінати, які індустріальними методами будують житлові квартири, окремі ділянки й цехи промислових будівель і споруд, що збираються на майданчиках збірно-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 визначається її властивостями, хімічним складом, розмірами та іншими параметрами, які визначаються з урахуванням надійності та вартості. Оцінювання та гарантія якості виробів можлива тільки в випадку, коли їх якісні характеристики чітко визначено й належним чином узаконено. Такі документи мають назву стандартів.

Методами підвищення ефективності стандартизації є *уніфікація, типізація, агрегування*. Стандартизація націлена на розробку таких обов'язкових правил, норм і вимог, які повинні 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 відносно продукції та виробничого процесу, а також вимог, які забезпечують зберігання матеріальних цінностей.

Уніфікація є різноманітністю стандартизації й призводить 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. При цьому дуже мало враховувався досвід проектування й експлуатації виробів такого ж призначення. Цей підхід до проектування супроводжувався значними витратами часу й непродуктивним використанням проектувальників високої кваліфікації. Крім того, значна частина деталей і

вузлів в заново створюваних об'єктах супроводжувалася підвищенням ціни й часу на їх виготовлення. При цьому різні машини, прилади, обладнання мають велику кількість деталей, вузлів, механізмів аналогічного призначення, наприклад, підшипники використовують для виконання обертового руху, зубчасті передачі працюють для перетворення кутових прискорень та обертальних моментів в приводах машин і незалежно від видів мають чимало спільного в їх конструкціях. Це дозволяє створювати типові деталі, вузли й механізми, які без будь-яких переробок можливо використовувати в різноманітних готових виробах. Такі типові вироби широкого використання, як правило, виготовляють на спеціалізованих підприємствах, що значно прискорює й покращує проектування та виготовлення нових об'єктів. Уніфікацію проводять на основі аналізу й вивчення конструктивних варіантів та особливостей роботи виробів аналогічного призначення (муфт, підшипників та ін.).

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 вона завершується створенням стандартів і навіть спеціалізованих виробництв. Уніфікація може мати самостійне призначення, якщо уніфікуються вироби, що мають обмежене використання.

Агрегативання – метод створення нових машин, приладів і обладнання шляхом компонування стандартних і уніфікованих деталей, вузлів і механізмів, що мають однакові геометричні розміри та призначення.

Уніфікація й агрегативання все більше використовуються в машинобудуванні та приладобудуванні, оскільки вони значно скорочують трудомісткість проектування, виготовлення та ремонт виробів, розширюють можливості стандартизації, підвищують рівень взаємозамінності продукції й спеціалізації підприємства, механізації й автоматизації виробничих процесів, підвищують якість продукції, а також полегшують перебудову виробництва в перехідний період підприємства для виготовлення нової продукції.

Стандартизація великих міжгалузевих систем передбачає створення систем взаємопов'язаних стандартів, які забезпечують найбільшу ефективність виконання робіт загальнодержавного призначення.

3.5. Поєднання виробництва, науки та інновацій

В сучасних умовах досягти підвищення ефективності виробництва можна переважно за рахунок розвитку інноваційних процесів. *Інновацією* є виробництво або впровадження продукту, в створення якого вкладено нові, раніше не використані знання. *Інноваційним продуктом* можна вважати лише той, в 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, вдосконалення основних принципів управління стосовно до специфіки вітчизняного ринку створюють умови для поновлення процесів відтворення на підприємствах і дають додатковий імпульс для економічного зростання. Інновації включають не тільки технічні чи технологічні розробки, а й будь-які зміни в кращу сторону в усіх сферах науково-виробничої діяльності. Постійне оновлення техніки й технологій робить інноваційний процес основною умовою виробництва конкурентоспроможної продукції, завоювання й збереження позицій підприємств на ринку та підвищення продуктивності, а також ефективності підприємства. Якщо виходити з цього, то *інноваційний розвиток* – це еволюція на базі нових знань.

Принцип сьогоднішнього дня – випередження наукою техніки та технології. Успіх технічного й технологічного процесу, всього ходу науково-технічної, технологічної, інформаційної революції в теперішній час залежить від того, наскільки повно й глибоко буде пізнана певна область науки.

Науково-технічна революція як корінний переворот в продуктивних силах сучасного суспільства, який здійснюється при випереджаючій ролі науки, включає в себе не тільки науку та техніку, а й виробництво.

Поняття "*наука*" багатозначно. З одного боку, під наукою розуміють систему понять про явища й закони дійсності навколишнього світу. З іншого боку, наукою називають сферу дослідницької діяльності, спрямовану на отримання нових знань щодо природи, суспільства й мислення. Також іноді під наукою розуміють: підсумковий досвід людства в концентрованому вигляді, форму суспільної свідомості, відображення дійсності у суспільній свідомості та ін.

Поява великого машинного виробництва створює умови перетворення науки в активний чинник самого виробництва. В умовах науково-технічної революції відбувається корінна перебудова науки, вже не просто наступною за розвитком техніки, а обганяє її, стає провідною силою прогресу матеріального виробництва.

Необхідність наукового підходу в матеріальному виробництві, в економіці та в політиці, в сфері управління та в системі освіти змушує науку розвиватися швидшими темпами, ніж будь-яку іншу галузь діяльності (рис. 3.7).

Наукові дослідження класифікуються за різними ознаками: методам вирішення поставлених завдань, сферою застосування результатів дослідження, видами досліджуваного об'єкта та ін. *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 повинні бути підтверджені практикою.

Теоретико-експериментальні дослідження передбачають подальшу експериментальну перевірку результатів теоретичних досліджень на натурних зразках або моделях.

Експериментальні дослідження здійснюються на натурних зразках або моделях в лабораторних умовах, при яких встановлюються нові властивості, залежності та закономірності, а також використовуються для перевірки висунутих теоретичних положень. *Фундаментальні дослідження* ставлять за мету вирішення принципово нових теоретичних проблем, відкриття нових законів, створення нових теорій. На їх основі вирішуються багато прикладних завдань стосовно до 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 та ін. 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'язане з науковою діяльністю та інноваціями, що й призвело до науково-технічної революції.

3.6. Пріоритетні напрямки технологічного розвитку

3.6.1. Види напрямків технологічного розвитку

На різних етапах розвитку суспільства, що характеризуються різноманіттям напрямків науково-технічного прогресу, виділяються пріоритетні напрямки, які відрізняються більш високими темпами розвитку,

більшою концентрацією кадрів, матеріальних ресурсів і мають велику соціальну значимість розроблювальних проблем.

Пріоритетні напрямки можуть бути національними, регіональними, міжнародних об'єднань та організацій й глобальними. Вони обумовлені типом організації суспільства та його економічних відносин. Пріоритетні напрямки науково-технічного прогресу (НТП) – особливість стратегії науково-технічного розвитку передових у науковому та економічному відношенні країнах.

Сучасною й прогресивнішою вважається така технологія, яка забезпечує більш якісний продукт при найменших питомих витратах ресурсів. Основні напрямки та особливості розвитку сучасних технологій визначаються наступними чинниками: жорсткими вимогами до якості продукції виробничої системи; частою зміною продукції; економією всіх видів ресурсів; забезпеченням врівноваженого природокористування; зростанням людського чинника; можливостями нової техніки.

Технології безперервно оновлюються мірою розвитку науки й техніки. Основні тенденції розвитку сучасних виробничих технологій становлять три основні напрямки:

- перехід від дискретних або циклічних технологій до безперервних поточкових виробничих процесів, які є найбільш ефективними та економічними;
- впровадження замкнутих (безвідходних) технологічних циклів у складі виробництва, які є найбільш екологічно нейтральними;
- підвищення наукоємності «високих» і «новітніх» технологій, які є найбільш пріоритетними у бізнесі.

До пріоритетних напрямків розвитку технологій на сучасному етапі слід віднести: забезпечення мінімальної кількості операцій в технологічному процесі; застосування мало- або безвідходних технологій; поєднання технологій з мікроелектронікою; застосування наукомістких технологій; формування інноваційних технологічних систем, що об'єднують різні процеси й засоби для їх реалізації.

Аналізуючи конкретні результати розвитку інноваційних технологій, можна навести наступні приклади.

Фундаментальні дослідження в області теорії синтезу й техніки високих температур і тисків дозволили отримати новий, відомий в природі, матеріал – нітрид бору, який застосовується на фінішних операціях металообробки. Аналогічно з графіту отримали синтетичний алмаз – матеріал високого спектра промислового застосування, аж до ювелірного виробництва. На стадії прикладних

досліджень знаходиться техніка промислового виробництва третьої аллотропічної форми вуглецю – фулеренів. Фулерени, без перебільшення, можна визнати високоефективними матеріалами найближчого майбутнього: напівпродуктом для отримання алмазів, інструментальним матеріалом та новим видом термостійкого напівпровідника.

Фундаментальні дослідження плазми забезпечили отримання зносостійких покриттів у вигляді нітриду титану та інших композицій для різальних інструментів. Розширення досліджень в цій області дозволяє отримувати композиційні покриття з різними властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик, наприклад, для таких відповідальних деталей як лопатки турбін.

Застосування нанотехнології дозволяє створювати найтонші шари покриттів, матеріал яких знаходиться в стані, наближеному до теоретичної міцності.

3.6.2. Комбіновані технології обробки матеріалів

В машинобудуванні використовують багато технологічних процесів, які мали раніш і будуть мати великий ефект і в майбутньому.

Це, в першу чергу, комбіновані процеси:

- плазмомеханічна обробка, коли плазма полегшує обробку різанням;
- електромеханічна обробка, коли електричний струм полегшує точіння, свердлування, шліфування тощо;
- електрофізична обробка, коли електричний струм високих коливань, лазерне випромінювання, ультразвук, потік електронів стає інструментом і революційно змінює процес різання, очищення, зварювання.

Плазмомеханічна обробка металів, складеться в обробці різанням матеріалів, попередньо разупрочнених струменем плазми з плазмотрона, закріпленого в зоні різця. При такому разупрочненні оброблюваної поверхні навантаження на різець знижується майже в 2 рази, а стійкість різця підвищується в декілька разів. Застосування цієї технології в рази підвищує продуктивність праці та якість оброблюваної поверхні.

Створення комбінованих методів обробки є значним досягненням в галузі технології машинобудування. Так, в результаті тривалих досліджень процесів шліфування та електричного розряду в газах і рідинах розроблено метод алмазноіскрового шліфування, який з успіхом застосовується при фінішній обробці деталей, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів. При цьому способі

використовуються алмазні або кубанітові круги, або абразивні шліфувальні круги на металевій зв'язці. Стабільність процесу різання досягається за рахунок усунення засалювання шліфувального круга, оскільки електроерозія, що формується електричними іскрами, руйнує стружки, які утворюються під дією алмазних зерен, а також забезпечує передруйнування оброблюваного матеріалу в зоні різання. Це знижує енергоємність процесу шліфування та забезпечує підвищення продуктивності та якості обробки.

Залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, зв'язки та зернистості круга, а також вимог шорсткості оброблюваної поверхні, інтенсивність електроіскрового процесу алмазноїіскрового шліфування регулюється характеристиками електричної енергії, що подається в зону обробки.

Таким чином процес алмазноїіскрового шліфування є яскравим прикладом використання наукомістких технологій поряд з традиційними технологіями обробки різанням, причому виник він в результаті фундаментальних досліджень в області нових інструментальних матеріалів та інновацій в металообробці.

Електрофізичні та електрохімічні технологічні системи. Електрохімічні та електрофізичні методи обробки, удосконалюючись і об'єднуючись в більш складні технології, сприяють реалізації нових технічних рішень. Вони засновані на використанні сфокусованих променів різних видів енергії високої щільності. Процеси згруповано за фізичними ознаками і включають лазерні, електроерозійні, електронно променеві, ультразвукові процеси.

Роль цих процесів зростає мірою залучення у виробництво нових більш твердих і зносостійких матеріалів, які важко обробляти традиційними способами.

Ці процеси легше піддаються автоматизації, яка дозволяє їх використовувати в технологіях більш високого рівня.

В даний час розробляються гнучкі переналагоджувані модулі для гнучких автоматизованих виробництв, в яких принципи подібної обробки матеріалів в поєднанні з мікропроцесорним управлінням і автоматизацією зміни електродів-інструментів можуть забезпечити суттєвий економічний ефект. Безпека процесів та їх екологічна чистота значною мірою сприяють широкому поширенню цих технологій.

Ефективною є розмірна анодно-механічна обробка металів і сплавів на основі їх анодного розчинення під час електролізу. В якості електроліту

використовується водний розчин солей, кислот і лугів. На поверхні оброблюваного металу, що є анодом, відбуваються хімічні реакції, в результаті оброблюваний метал розчиняється в електроліті, продукти розчинення видаляються з робочої зони проточним електролітом.

Більш ефективною слід розглядати електроабразивну обробку, яка поєднує анодне розчинення та абразивне різання зернами в зоні безпосереднього контакту різальної частини інструменту з оброблюваною поверхнею.

Електроерозійна хімічна розмірна обробка заснована на розмірній електрохімічній обробці зі сполученим електроерозійним руйнуванням металу. В результаті відбувається анодне розчинення оброблюваної поверхні. Для забезпечення електроерозійного руйнування необхідно на електроди (інструмент і заготовку) підводити відповідний імпульс напруги, наблизивши його на величину пробою.

Основним недоліком електрохімічної обробки металів є застосування складного обладнання та верстатів, які виконано з корозійностійких металів та сплавів, кислотостійких, лужностійких, гальванічних покриттів, обмазок, пластмас. Тому впровадження електрохімічної обробки виправдано серед інших способів лише наявністю відповідних техніко-економічних показників або неможливістю обробки деталей іншими способами. Необхідно враховувати також і те, що такий спосіб обробки пов'язаний з впливом шкідливих чинників на людину й навколишнє середовище, наскільки б не були досконалі обладнання й технологія.

Перевагою обробки металів різанням в умовах використання механіки руйнування є використання звичайного обладнання з меншою шкодою навколишньому середовищу й людині.

Новими інструментальними матеріалами є синтетичні алмази певної якості й кубічний нітрид бору або ельбор.

Новими в металообробці є прикладні дослідження регульованих електророзрядних процесів руйнування оброблюваної поверхні, коли за рахунок змінювання режиму електророзрядного процесу можна здійснювати грубу обробку й обробку з граничним згладжуванням шорсткості шляхом електролітичного полірування.

Фундаментальні дослідження в галузі квантової оптики призвели до створення лазерної техніки, яка успішно застосовується в процесі різання, зміцнення та зварювання металів, отримання отворів малого діаметра в

надтвердих матеріалах. Лазерний промінь і промінь, що має іншу природу, породили ряд нових напрямів науково технічного розвитку в медицині, біології та військовій справі.

Лазер – оптичний квантовий генератор є джерелом потужного світлового монохроматичного випромінювання. Пристрій лазера здатний фокусувати промінь світлової та електромагнітної енергії до таких розмірів, які забезпечують концентрацію значної енергії в мікро обсязі – діаметр фокусованого променя дорівнює $4...6 \text{ мкм}^2$. Чітко спрямована дія такого променя може бути короткочасною ($t = 10...6$ секунди), тобто у вигляді імпульсів. Робочими тілами в лазерних пристроях можуть бути монокристали рубіна, гази (суміш вуглекислого газу з азотом), напівпровідники й рідини. У технологічних процесах в основному використовуються найбільш потужні твердотільні або газові лазери.

Накопичений досвід лазерної технології та результати вітчизняних і зарубіжних досліджень в даній області показують, що з найбільш перспективних напрямів розвитку лазерної технології виділяється, перш за все, вдосконалення розвитку розмірної обробки. Передбачається підвищення якості та точності отримання прецизійних отворів малих діаметрів при збільшенні продуктивності, 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, при розташуванні отворів під кутом до оброблюваної поверхні, тобто отвори, які звичайним свердлінням отримати важко. Так, за допомогою лазерного випромінювання можна виготовити отвори діаметром $0,03...3 \text{ мм}$ і глибиною в декілька міліметрів з продуктивністю до 60 отворів в хвилину. Отвори виготовляють в твердих сплавах, кераміці, годинникових каменях, алмазах та ін. Похибка розмірів отворів не перевищує $\pm 0,01 \text{ мм}$. Переміщаючи оброблювану деталь і використовуючи потужні газові лазери безперервної дії, можна вирізати контур деталі в листі металу товщиною $10...20 \text{ мм}$. Різання матеріалів виконують при щільності потужного лазерного випромінювання $10^5...10^7 \text{ Вт/см}^2$ для металів, та $10^2...10^5 \text{ Вт/см}^2$ – для деяких неметалічних матеріалів. Найбільшого ефекту досягають при лазерному різанні коштовних матеріалів: жароміцних, з нержавіючих сталей, титанових та інших сплавів, оскільки з його допомогою можна суттєво знизити втрати матеріалів, а застосування лазерних установок з програмним керуванням, 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. Лазерне зварювання виявилось ефективним для з'єднання сталевих спіральної пружини (волоска) в колодці осі балансу годинникового механізму замість механічного кріплення. Завдяки малій тривалості імпульсу випромінювання в маленьку ділянку термічної дії виходить якісне з'єднання і підвищується точність відліку часу годинником. Лазерне зварювання дозволяє отримувати шви глибиною від декількох міліметрів до десятих часток міліметра.

Застосування лазерної технології для вже освоєних технологічних процесів, якими є в машинобудуванні різання і зварювання матеріалів, стримується недостатньою кількістю потужних технологічних лазерних верстатів. Потужні газові лазери застосовують для зварювання і напаявання листових і дротяних різнорідних металів і сплавів. Переломляючи світловий промінь лазера за допомогою оптичних систем - лінз, можна направляти його в важкодоступні для обробки місця, концентрувати і отримувати зварні з'єднання у вигляді мікрокрапок. Імпульсна зварка за допомогою твердотільних лазерів отримала широке застосування в радіоелектронній промисловості під час зварювання інтегральних схем.

До нових перспективних напрямів використання лазерної технології відносять різні види зміцнення поверхневих шарів матеріалів з метою підвищення їх зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик. Причому зміцнення під впливом лазерного променя відбувається завдяки надвисоким швидкостям нагрівання і наступного охолодження матеріалу, що опромінюється, часткового насичення поверхневого шару азотом повітря, вуглецем або іншими елементами зі спеціального покриття або інших середовищ, а також завдяки зростанню дислокацій в зоні опромінення. При цьому відбуваються структурні перетворення з утворенням ультра дисперсної гомогенної структури з унікальними властивостями.

Застосовуючи імпульсне або безперервне випромінювання з певною потужністю й різною швидкістю сканування променя заданою траєкторією, можна управляти макро- та мікротопографією поверхні, напружено-деформованим станом поверхневого шару матеріалу, механічними та іншими характеристиками зони термічного впливу. Досвід показує, що застосування лазерного зміцнення сталевих напрямних різних машин великогабаритного протягування дозволяє значно підвищити їх стійкість. Стійкість вирубних штампів, фасонних різців, фрез і довб'яків підвищується в 2...4 рази.

Лазери широко використовуються в металообробці, в термообробці та при нанесенні тонких плівок на поверхню будь-яких матеріалів, для активації хімічних реакцій, для голографічного запису інформації, в волоконно-оптичних лініях зв'язку, для вимірювання відстаней, в мікрохірургії ока, в космонавтиці, в наукових дослідженнях та інших областях діяльності людини. Мірою вдосконалення технологічного обладнання будуть впроваджуватися лазери для зварювання металів великої товщини, різкого підвищення швидкості різання, використання лазерів в металургії, в обробці кам'яних матеріалів під час буріння свердловин нафто- та газовидобутку, в умовах прокладки штолень в важкодоступних шахтах та ін.

Застосування лазера дозволило в десятки разів підвищити продуктивність порівняно з традиційними електрофізичними методами й більш ніж в 100 разів – порівняно з механічними методами. Лазерне загартування дозволяє обробляти деталі складної форми з вилученням негативного впливу на деталь.

Важливою для техніки та технології є ультразвукова обробка, яка заснована на пружних механічних коливаннях з частотою вище 20 кГц, що не сприймаються вухом людини. Найбільш короткі ультразвукові хвилі мають довжину відповідно хвилям видимого світла. Ультразвукові хвилі, також як і світлові, відбиваються від перешкод, їх можна фокусувати й тощо. За допомогою ультразвуку досягається інтенсифікація багатьох технологічних процесів. Ультразвукові коливання, одержувані за допомогою електронних пристроїв, знаходять широке застосування в процесах напаявання й зварювання деталей, очищення поверхонь від забруднень, в процесі обробки діелектричних матеріалів.

Сутність ультразвукової розмірної обробки полягає в тому, що між інструментом, з'єднаним з випромінювачем, і заготовкою вводиться абразивний матеріал, що впливає на оброблювану поверхню. Абразивними зернами тут є алмаз, корунд, наждак, кварцовий пісок, карбід бору, карбід кремнію та ін. Ультразвуком можна обробляти й крихкі матеріали (скло, кераміку, кварц, кремній, германій та ін.), й жароміцні тверді (загартовані та азотовані сталі, тверді сплави), застосовувані, зокрема, для виготовлення металорізального інструмента. Якість ультразвукового очищення незрівнянна з іншими способами. Наприклад, в процесі очищення деталей різними органічними розчинниками на їх поверхні залишається до 80% забруднень, при вібраційному очищенні – близько 55%, а при ультразвуковому – не більше 0,5%. Таким чином, інноваційні процеси є ключовим питанням розвитку науково-технічного прогресу.

4. Високі технології та їх розвиток

Високі технології; як напрямок розвитку М. в сучасному сенсі – це декілька шляхів розвитку машинобудування, а також найближчого його майбутнього. Це мікроелектроніка; робототехніка; штучний інтелект; нанотехнології; квантові технології; гіперзвукові технології та інше. Раніш вважали, що машина – це об'єкт, в якому «залізо» десь 70%, а інше 30%. Зараз і далі так буде, «залізо» в машині зменшується до 25...30%, а «інше» – 70...75%.

Ось це «інше» і є результатами дій людей, які працюють на цих шляхах. В цьому розділі ми розглянемо перші три шляхи

4.1.Робототехніка, технології штучного інтелекту

Робототехніка – галузь, де замість чоловіка дії виконують роботи.

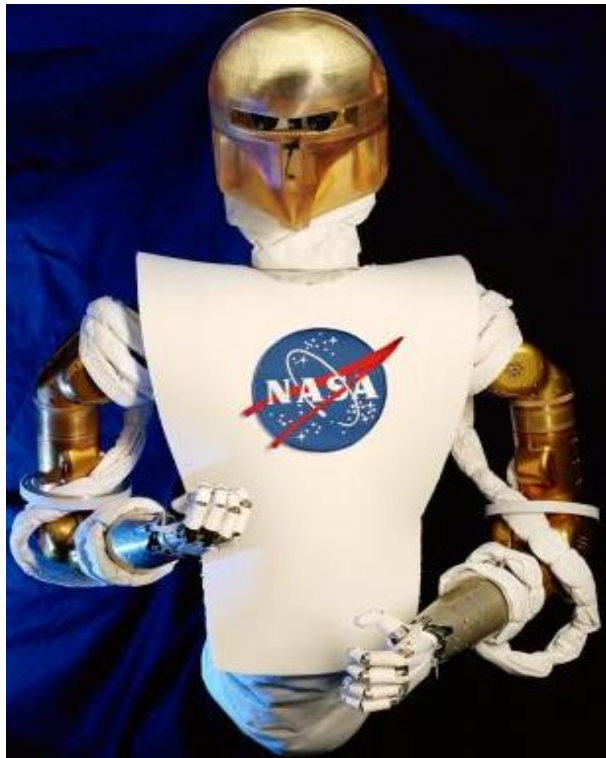


Рис. 4.1. Тіло/рама робота

Робот – це програмований механічний пристрій, здатний виконувати завдання та взаємодіяти з зовнішнім середовищем без допомоги з боку людини, а робототехніка – наукова й технічна база для проектування, виробництва та застосування роботів.

До компонентів робота належать: тіло/рама (рис. 4.1), система управління, маніпулятори та його ходова частина.

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

Система управління робота є еквівалентом центральної нервової системи людини. Вона призначена для координування управління всіма елементами робота. Датчики реагують на взаємодію робота з 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 інших роботів реалізована за допомогою коліс або іншими засобами (рис. 4.2).

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

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

В даний час промислові роботи, як правило, оснащені системами технічного зору (рис. 4.3).

Роботів можна використовувати для виконання складних, небезпечних завдань, а також завдань, які людина виконати не в змозі. Наприклад, роботи здатні знешкоджувати бомби, обслуговувати ядерні реактори, досліджувати глибини океану й досягати найвіддаленіших куточків космосу.

Дослідницькі роботи. Роботи мають широке застосування в світі досліджень, оскільки їх часто використовують для виконання завдань, у вирішенні яких людина безпорадна. Найбільш небезпечні й складні середовища знаходяться під поверхнею Землі.

З метою вивчення космічного простору й планет сонячної системи використовуються космічні апарати, посадочні модулі й всюдиходи з функціями роботів (рис. 4.2).

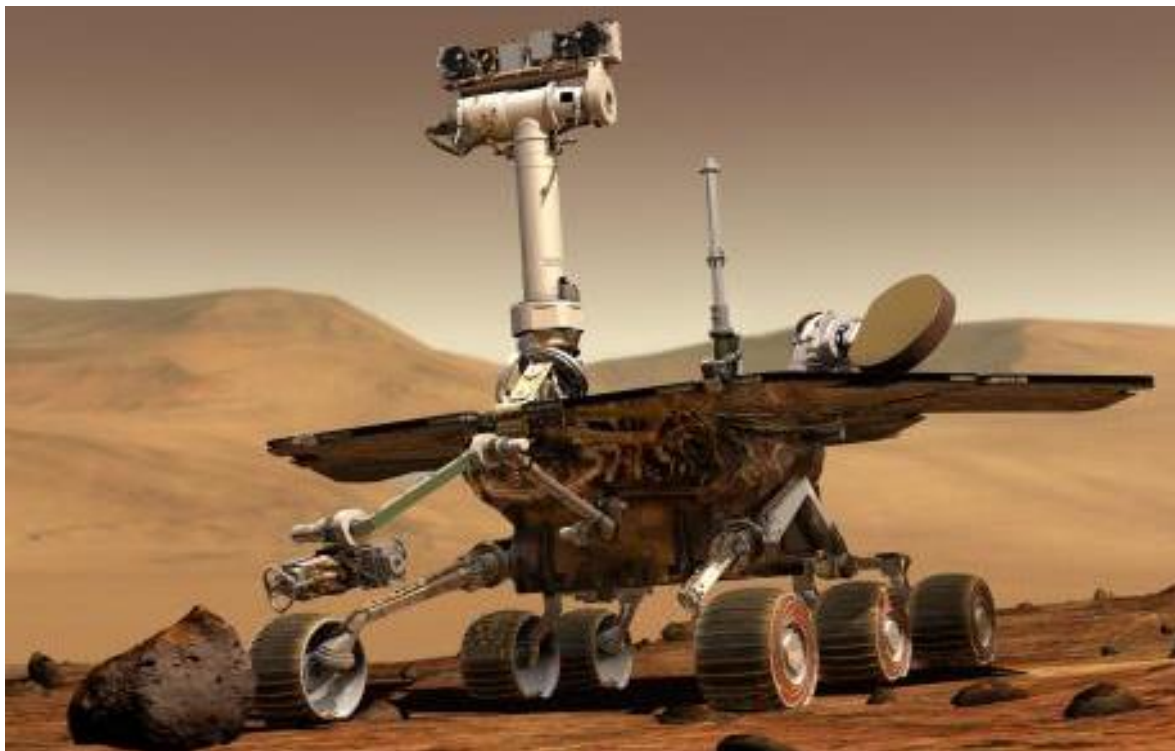


Рис. 4.2. Робот дослідник

Роботи в освіті. 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 проєктувальників, артистів і техніків одночасно, використовуючи власні руки й голову. Це відкриває величезні можливості застосування наукових і математичних основ.

У сучасній системі освіти, з урахуванням фінансових обмежень, середні й 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 побачили 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.

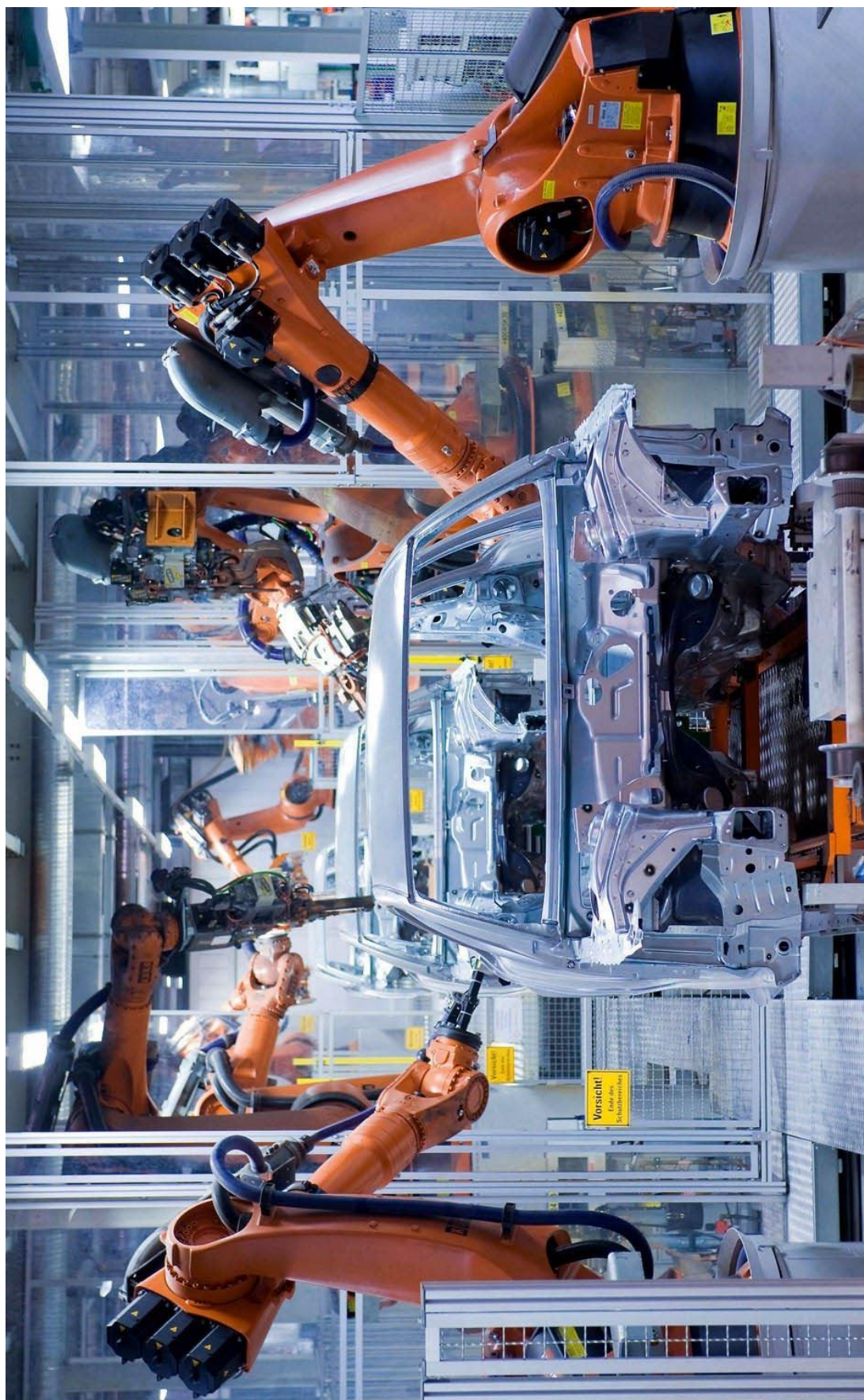


Рис. 4.3. Роботизоване робоче місце

Призначення робототехніки. Робототехніка є новою областю техніки, яка застосовується в багатьох сферах життя людини. Важливим чинником розвитку суспільства є освідченість всіх його членів в частині існуючих технологій. Але це не єдина причина зростаючої значущості робототехніки. 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. Комбінуючи ці аспекти праці, вони підвищують свої знання й можливості на новий рівень.

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

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.

Дослідження в сфері штучного інтелекту проводяться шляхом вивчення розумових здібностей людини та перекладання отриманих результатів в поле діяльності комп'ютерів. Таким чином, штучний інтелект отримує інформацію з різних джерел й дисциплін: це й інформатика, математика, лінгвістика, психологія, біологія, машинобудування. На основі масиву даних за допомогою технології машинного навчання комп'ютери намагаються імітувати 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 й виконувати поставлені завдання.

Технологічні принципи штучного інтелекту базуються на *машинному навчанні* (МН) – принцип розвитку штучного інтелекту на основі самонавчаючих алгоритмів. Участь людини при такому підході обмежується завантаженням в «пам'ять» машини масиву інформації та постановкою мети.

Існує кілька методик МН:

- навчання з 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. 4.4).

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 проєкті. Тобто, суперкомп'ютер – це мережа з безлічі звичайних комп'ютерів.

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

Когнітивні обчислення – це один з напрямків штучного інтелекту, який вивчає та впроваджує процеси природної взаємодії людини й 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 напрямок штучного інтелекту використовується для розпізнавання графічних та відеозображень. Сьогодні машинний інтелект може обробляти й аналізувати графічні дані, інтерпретувати інформацію відповідно до навколишнього середовища (рис. 4.4).

Синтезоване мовлення. Комп'ютери вже можуть розуміти, аналізувати й відтворювати людську мову. Ми вже можемо управляти програмами, комп'ютерами та 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 та 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 на ЧПУ та ін.

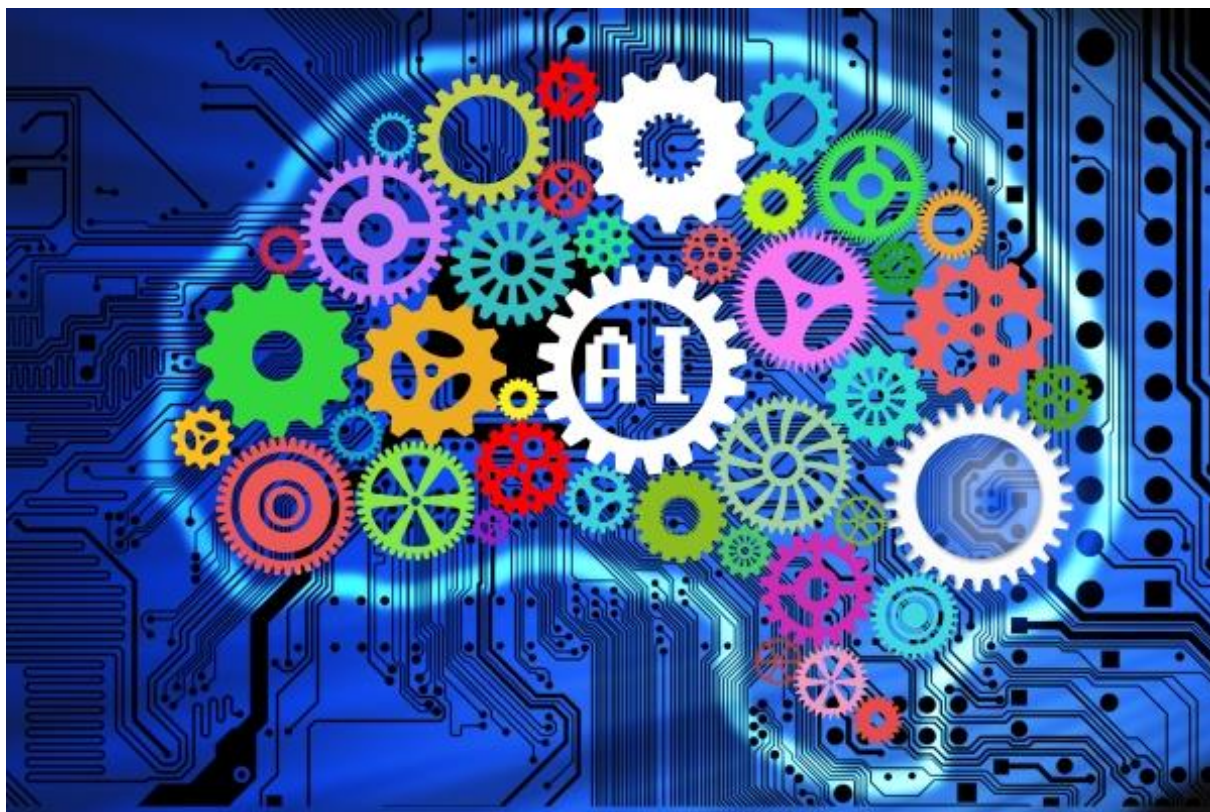


Рис. 4.4. Образ імітування інтелекту людини

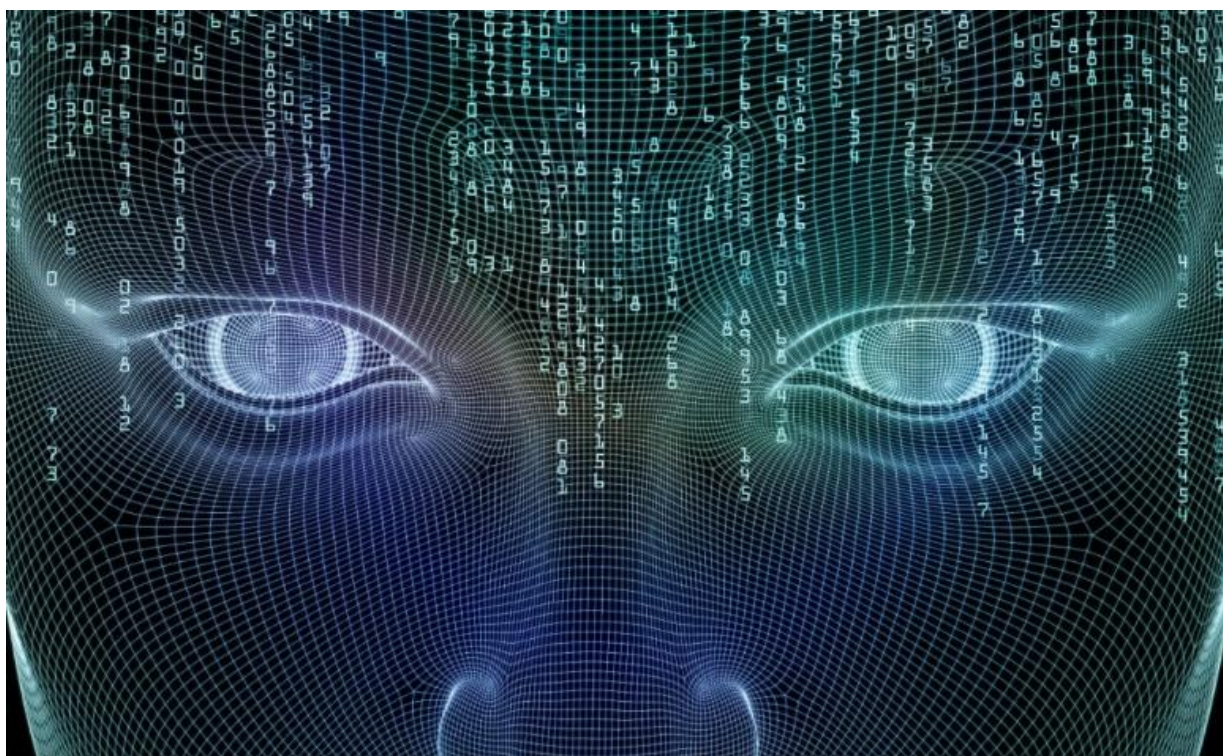


Рис. 4.5. Комп'ютерний зір

Сфера використання штучного інтелекту дуже поширена. Це:

- *медицина і охорона здоров'я*. Комп'ютерні системи ведуть облік пацієнтів, допомагають в розшифровці діагностичних результатів, наприклад, знімки УЗД, рентгену, томографа та іншого медобладнання. Інтелектуальні системи навіть можуть за наявності ознак у пацієнта визначати хворобу, пропонувати оптимальні варіанти лікування.
- *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 й аудиторію для виступів Обами. За оцінками фахівців це дало перевагу в 10...12 %.
- *промисловість*. Штучний інтелект може аналізувати дані з різних виробничих ділянок і регулювати навантаження на устаткування. Крім того, інтелектуальні машини використовують для прогнозування попиту в різних галузях промисловості (рис. 4.5...4.6).
- *військова сфера*. Про неї мова буде далі.
- *ігрова індустрія, освіта*. Штучний інтелект активно застосовується розробниками ігор.

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

Можливості штучного інтелекту на даній стадії розвитку не безмежні. До головних труднощів його розвитку можна віднести наступне:

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

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



Рис. 4.6. Інтернет працює у виробництві

4.2. Нанотехнології

З 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 описів даного терміну. Одним з таких описів є: використання та маніпулювання процесами й матеріалами об'єктів в нанометровому масштабі.

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.

Термін «нанотехнологія» вперше запропонував японський фізик Норіо Танігуті в 1974 році, описуючи цим терміном процес створення об'єктів розміром в кілька нанометрів.

Починаючи з 2000-х років, нанотехнології вже щільно вкоренилися в умах багатьох вчених, змусивши їх усвідомити, що маніпуляції з наночастинками не тільки можливі, але й є ключем до колосального прориву.

На даний момент нанотехнології настільки поширені в нашому житті, що іноді ми навіть й уявити не можемо, де нам зустрічаються їх 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. Використання нанотехнологій настільки перспективно, що їх дослідження не припиняється ані на день, а в процесі проектування нових ідей та інновацій вже давно задіяні найкращі фахівці в цій галузі.

З 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 – об'єкти, у яких три характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм;
- нанотрубки, нановолокна – об'єкти, у яких два характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм;
- наноплівки – об'єкти, у яких один характеристичний розмір знаходиться в 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 при роботі з матерією часто непридатні, а мікроскопічні явища, зневажливо слабкі в звичайних масштабах, стають набагато більш значущими й непередбачуваними: властивості й взаємодії окремих атомів і молекул або агрегатів молекул, квантові ефекти приймають абсолютно новий характер.

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

При роботі з розмірами на атомно-молекулярному рівні проявляються квантові ефекти та ефекти міжмолекулярних взаємодій, таких як Ван-дер-Ваальсові взаємодії. Нанотехнології й, 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 та 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.

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 свержмалі 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 складувів, отриманий в результаті багатовікової практики. Аналогічно можна сказати про колоїдні суспензії, коли системи з частинками менше мікрметра в рідкому середовищі є лікарськими препаратами.

Початком ери нанотехнології й нанонауки можна вважати наступні події початку 1980-х років: народження науки про нанопорошки; винахід скануючого тунельного мікроскопа (STM). Ці досягнення, зокрема, призвели до відкриття фулеренів в 1986 році й 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 не можливо 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.

Відмітна особливість нових матеріалів в процесі застосування нанотехнологій при їх отриманні – це непередбачувані одержувані фізико-технічні характеристики. У зв'язку з цим з'являється можливість отримання нових квантових фізико-механічних характеристик в речовинах, у яких змінюються звичайні електронні структури, але змінює звичайну форму прояви в нових сполуках. Наприклад, можливість зменшення розміру частки не завжди піддається визначенню й вимірам розмірів елементарних частинок за допомогою макро- й мікрровимірювань. Однак, це стає можливим, коли діапазон розмірів наночастинок знаходиться в зоні нано. Певна кількість фізико-механічних властивостей також змінюється зі зміною розмірів макроскопічних елементів. В даний час нові незвичайні механічні властивості наноматеріалів – предмет дослідження наномеханіки. 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, зазвичай називають *наночастинками*. Так, наприклад, виявилось, 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 $n = 1,52$) та ін. Отримано взаємодію штучних наночасток з природними об'єктами нанорозмірів – білками, нуклеїновими кислотами та ін. Ретельно очищені наночастинки можуть самовстановлюватися в певні структури. Така структура містить строго впорядковані наночастинки й також набуває нові важливі властивості.

Нанооб'єкти діляться на 3 основні класи:

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

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 відзначити методи іонного та молекулярного нашарування, оскільки з 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, само-організовуватися, 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, організуючись 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. Один із прикладів – білки, які не тільки можуть згорнутися 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 з кінців

комплементарної ДНК приєднується молекула А чи 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 впливають 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 аллотропних 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 при кімнатній температурі. Тому, коли вирішать проблему формування забороненої зони в ньому, можна 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, тобто – використовують специфічні основи молекул ДНК і нуклеїнових кислот для створення на їх основі чітко заданих структур.

Список можливостей, що надаються людству нанотехнологіями, значно ширше.

Більшість з нас регулярно користуються тими чи 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. З новою технологією розміри деталей мікросхем опустяться суттєво нижче планки в 10–15 нанометрів, 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 з 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.

Поняття «нанотехнологія» введено в обіг в 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 при виготовленні ходового гвинта підводного човна. Вважалося, що при цій шорсткості оброблена поверхня приймала нові технологічні властивості, що фактично виключали шум ходового гвинта, і акустикою складно було виявити підводний човен в підводному положенні.

Суть нанотехнології полягає в тому, що дріблення матерії призводить до нових властивостей. Якщо працювати на рівні атома, то це призводить, згідно із законами атомної фізики, до ланцюгової реакції, яка використовується у військових цілях (при створенні атомної бомби) і в мирних цілях (при створенні 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 з причин прояви нових властивостей на нанорівні.

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 непередбачуваним є перехідні стани.

До середини ХХ 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 з цією проблемою в фізиці напівпровідників. У своєму прагненні до мініатюризації вони дійшли до таких розмірів частинок (кілька десятків нанометрів і менше), при 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 макрочастинок 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 й найважливішою якістю наночастинок, основною відмінністю їх від мікро- і макрочастинок є поява у них принципово нових властивостей, які не виявляються при інших розмірах.

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 використовувати 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.

Робототехніка, штучний інтелект, нанотехнології, про які, йшла мова в цьому розділі, це напрямки розвитку М. на майбутнє, вже добре перевірені в багатьох сферах виробництва і в М. теж.

Наприклад, роботизоване виробництво автомобілів в Японії та Південній Кореї, роботизоване виробництво побутових машин в Китаї тощо.

Нанотехнології в нашому житті зараз теж мають дуже багато втілень, наприклад багат шарові покриття на ріжучих лезових інструментах, опорах ковзання та качіння, мастила пар тертя, клеї тощо.

Ці напрямки розвитку мають чітку перспективу на 2023 – 2040 рр. як у громадській сфері діяльності, так і в інших сферах: безпеки життя, військовій сфері (про це в гл. 5), охорони здоров'я та інших.

5. Тренди в науці та технологіях 2023-2040 р.р

Ця книга написана авторами під час війни, коли гинуть військові і цивільні люди, руйнуються оселі, школи, заводи, шляхи і при цьому навіть неможливо казати про майбутнє машинобудування: воно десь далече-далече. Але Україна переможе і після перемоги нам потрібно буде будувати наше нове життя. В першу чергу, автори впевнені в цьому, ми будемо розвивати галузь військового машинобудування, яке раніше вже існувало в країні, а це літакобудування, випуск танків, броньованих машин, гармат, ракет, двигунів тощо. Країна має можливість забезпечити свою армію сучасними бойовими машинами, у нас існує великий технічний, науковий та інженерний потенціал випуску сучасних бойових машин, є дуже міцний фундамент виробництва нових металевих і неметалевих матеріалів, покриттів, монокристалів, НТМ та інших за потребами на 10 – 20 років поперед ніж виникла в них потреба зараз.

Україна розвиває дуже інтенсивно цифрову сферу і має багато фахівців в цій сфері, які без великих потуг можуть моделювати, проектувати, оформляти сучасні конструкції і технології, розвивати технології штучного інтелекту.

Якщо взяти за основу тезис: «хочеш миру – готуйся до війни», то автори в розділі 5 цієї книги вирішили розглянути майбутнє машинобудування так, як це роблять військові, хоча самі автори на 100% цивільні люди і не мають військової освіти і досвіду.

Ми виходили з того, що Україна прагне до вступу в НАТО (North Atlantic Treaty Organization) і, будуємо сподіватися, колись вступить в цю організацію. Попит НАТО в галузі військового машинобудування буде нам дуже корисним. Ось тому першим кроком в перспективах розвитку машинобудування на 20 – 25 років вперед буде крок розвитку військового машинобудування.

Військове та цивільне машинобудування у багатьох країнах, і в Україні теж, завжди були поруч і тому тренди розвитку військових машин – це шляхи розвитку і цивільних.

Сучасна машина, як визначалось вище на 30% – це механіка, а на 70% супутні сфери: електроніки, електроенергетика, цифрові пристрої тощо.

Сучасна машина це автоматизована система, яка може працювати під керівництвом оператора або автономно.

В автоматизованому середовищі машин, які працюють автоматично, машини повинні «розуміти» сусіда, а звідси такі машини повинні мати датчики, які «бачать», «слухають», «кажуть» тощо. Все це дуже ускладнює сучасні машини і потребує переробки даних і великих обсягів інформації (ВДАА), можливо, наявності елементів штучного інтелекту (AI), елементів зв'язку з оператором та базами керування інше. Ось такі напрямки розвитку сучасних машин повністю співпадають з тим, що є в військовій сфері. Сюди треба додати високу надійність роботи, автономність, надзвичайно високі вимоги до охорони навколишньої середовища, надзвичайно широкий діапазон параметрів навколишньої середовища (космос – земля – вода; Антарктида – екватор; океан – пустеля; ВУ+СВУ інше), економічність тощо.

Автори, роблячи прогноз розвитку машинобудування на 20 років вперед, зупинились на аналізі військових машин по декільком причинам:

- бойовий досвід України в 2023 р., яка отримує дуже багато військової техніки, як допомогу країн альянсу НАТО;
- досвід військових інших країн по використанню бойових машин і перспективам їх покращення та тенденціям взагалі їх подальшого використання;
- загальні тенденції розвитку науки, наукових технологій, їх вплив на цивільну і військову сферу, а також попит цих сфер на перспективу;
- загальне машинобудування завжди революційно змінювалось під впливом військових замовлень. Нагадаємо, реактивну авіацію, космос, океан, цифрову сферу тощо.

Роблячи цей прогноз, автори чітко усвідомлювали, що він також повинен будуватися і на такому:

- технологічні тенденції, що обговорюються у відкритій літературі;
- глобальній погляд на технологічний прогноз;
- логічні міркування експертів з науки і технологій.

Експерти з військової сфери на першу чергу в технологіях майбутнього ставлять їх руйнівний ефект, т.з. руйнівні технології (EDT), але в певній мірі цей ефект є фундаментом багатьох технологій машинобудування на їх фізичному рівні.

Багато експертів розглядають EDT значно ширше, тобто на фізичному, технічному, соціальному, економічному та інших напрямках.

«Прогнозувати дуже складно, особливо якщо мова йде про майбутнє», казав колись Нілс Бор.

Обґрунтованих прогнозів розвитку технології зараз дуже мало, хоча є багато перспективних технологій, які вже випробуванні та частково втіленні.

5.1.Розвиток науки і технологій

Потенційні тенденції у галузі науки і технологій, як руйнівних так і новітніх технологій використовують наступні міркування:

- вони можуть бути реалізовані без витрат і заборон протягом найближчих 20 років;
- вони представлятимуть суттєвий виклик для суспільства, (наприклад, живучість, оборона, система стратегічного та оперативного управління, зв'язку, розвідки і спостереження);
- вони матимуть значний вплив на спроможності і рішення багатьох країн.

Що ми маємо на увазі під новітніми або руйнівними технологіями? Що це за нові або руйнівні технології чи наукові розробки?

Щоб відповісти на ці запитання, у цій главі подано короткий виклад сучасного середовища технологій.

Для цілей прогнозу визначаємо технології як:

- новітні: це технології або наукові відкриття, які, як очікується, буде розроблено у 2023 – 2040 роках; і, на сьогоднішній день, вони широко не

використовуються або їх вплив на оборону, безпеку та промисловість не зовсім зрозумілий;

- руйнівні (далі EDT): це технології або наукові відкриття, які, як очікується, матимуть великий або, можливо, революційний вплив на оборону, безпеку або промисловість в період 2023 – 2040 років.

- конвергентні: комбінація технологій, які поєднуються новим способом для створення руйнівного ефекту.

Не всі технології чи наукові відкриття є новітніми або руйнівними, а також руйнування не спричинено виключно технологією. Крім того, не всі новітні технології будуть руйнівними; не всі руйнівні технології новітні; і не всі конвергентні технології спричинені новітніми технологіями. У цьому прогнозі ми зосередимось на тих технологіях, які вважаються найбільш ймовірними руйнівними протягом двадцяти років, включаючи ті, що вийшли за рамки початкової фази розробки, але ще не використовуються широко. Розуміння природної моделі розвитку EDT є необхідною умовою розуміння та оцінки їх потенційного впливу на майбутнє.

Контекст науки і технологій. Військова революція сьомого покоління спричинена швидкими змінами технологічного середовища. Організований конфлікт між людьми (війна в самому крайньому випадку) є, за теорією Клаузевіца, фундаментальним зіткненням волі між великими соціальними групами, наприклад, державами, псевдодержавами, громадами, суспільствами тощо. Під час такого конфлікту, будь то з конкурентами чи з асиметричними загрозами, технологія є перевагою, яку слід використовувати.

Загальні чинники, що пов'язують технології четвертої промислової революції, полягають у тому, що всі вони певним чином є по своїй суті інтелектуальними, взаємопов'язаними, розповсюджені та цифрові. Майбутнє середовище науки і технологій буде характеризуватися, і в той же час керуватися, такими тезами, напрямками і рівнями:

- Інтелектуальний: інтегрований та інтегральний штучний інтелект, аналітика та спроможності ухвалювати рішення з усього технологічного спектру.

- Автономія: автономні системи, що підтримують штучний інтелект, здатні до певного рівня автономного прийняття рішень. Такі автономні системи можуть бути робототехнічними, побудованими на платформі або агентні (цифрові).

- Гуманістичний інтелект: безперебійна інтеграція психо-соціальних та техносистем, що підтримують посилене об'єднання людей та машин та синергетичну поведінку.
- Аналітика знань: вдосконалені аналітичні методи включаючи штучний інтелект, що обробляють великі обсяги даних, та вдосконалена математика, щоб надавати уявлення, знання та поради, досі непрактичні.
- Взаємопов'язані: використання мережі або сітки перетинаючих реальних і віртуальних доменів, включаючи датчики, організації, установи, осіб, автономних агентів та процеси.
- Довірені комунікації: використання таких технологій, як технології розподіленого реєстру, наприклад, блокчейн, квантовий розподіл ключів (QKD), пост квантова криптографія та кібер агенти штучного інтелекту для забезпечення довірених взаємодій та обміну інформацією.
- Синергетичні системи: розробка змішаних фізичних чи віртуальних складних суперсистем, що дозволяють створити нові екосистеми, наприклад, розумні міста.
- Розповсюджені: децентралізовані, широко поширені і широкомасштабні зондування, зберігання, обчислення, прийняття рішень, дослідження та розробка.
- Граничні обчислення: вбудовування сховищ, обчислень та аналітики штучного інтелекту в агенти та об'єкти, близькі до джерел інформації.
- Глобальне зондування: вбудовування датчиків низької чутливості, або меншої вартості для створення великих сенсорних мереж у людських фізичних інформаційних доменах.
- Децентралізоване виробництво: використання пов'язаного з штучним інтелектом дизайну, нових матеріалів та змішаних матеріалів, технологій друку 3D / 4D для підтримки своєчасного локального цифрового виготовлення та виробництва.
- Демократизована наука і технології: скорочення витрат на дизайн та виробництво, збільшення обчислювальних можливостей та широка доступність науково технологічної інформації, що сприятиме збільшенню інновацій та генерації нової науки.
- Цифровий: змішування людської, фізичної та інформаційної областей для створення нових фізіологічних, психологічних, соціальних та культурних реалій.

- Цифровий двійник: цифровий симуляр фізичних, біологічних чи інформаційних сутностей, цифровим чином пов'язаних (часто майже в реальному часі) з оригіналом, що підтримує прогнозовану аналітику, експерименти та оцінку.

- Синтетичні реалії: створення сприйняття нових когнітивних чи фізичних реалій на основі інтеграції психо соціально технічних систем. Такі реалії можуть мати розширений, віртуальний, соціальний чи культурний характер.

Нові EDT не набувають повністю форми, а також не відокремлюються від оперативного середовища, в якому передбачається їх використання. Необхідні зусилля, експерименти та інновації, щоб перетворити ці EDT на діючі спроможності.

Кожна з чотирьох ідентифікованих технологічних характеристик ETD поєднує в собі певну військову тенденцію:

- Інтелектуальні + розповсюджені $\Rightarrow$ Автономні: системи та агенти, розумні та все більш автономні системи, вже витісняють людей і перевершують можливості людини. На сьогоднішній день автономні системи були досить обмеженими з використанням фіксованого набору правил та різного рівні прямого контролю людини. Розширене використання штучного інтелекту призведе до виникнення автономних систем, здатних до значно складнішого прийняття рішень, самонаправленої діяльності та, в той же час, все більш складної взаємодії людини та машини. Таке розширене використання інтелектуальних агентів різко розшириться в наші синтетичні реалії, включаючи кібер-, бойові мережі та цифрові соціальні мережі. Автономні агенти нададуть швидкий аналіз, консультації та план дій щодо стратегічно-оперативно-тактичного планування, дозволяючи підвищити ефективність циклу OODA – спостерігати-орієнтувати-вирішувати-діяти. Такі інтелектуальні бойові мережі мають потенціал збільшити швидкість прийняття рішень до рівнів, які потребують нових методів взаємодії людини та машини та візуалізації.

В результаті конкуренція між бойовими мережами призведе до посилення еволюційного тиску на алгоритми, кожен з яких шукає переваги або комбінацію ефектів, що призведе до вирішальної перемоги. Так само автономні транспортні засоби підвищать свою ефективність у всьому спектрі конфліктів, створюючи великі сенсорні та ударні мережі.

- Взаємопов'язані + цифрові $\Rightarrow$ Бойові мережі: еволюючі гнучкі та адаптивні мережі системи стратегічного та оперативного управління C4ISR створюють глибокі операційні залежності, що лежать в основі військових дій.

Такі еволюючі бойові мережі все більше ставатимуть цілями самі по собі та суб'єктом конфлікту. Цей посилений фокус на безперервний та масово поширений зв'язок підвищить цінність нападу на такі військові чи цивільні мережі шляхом дезінформації, кібер- чи фізичним чином. Такі атаки можуть бути здійснені задовго до початку самого конфлікту і можуть побічно завдати удару по логістичним, кадровим, інформаційним, фінансовим або іншим допоміжним елементам сучасних операційних та стратегічних мереж.

– Взаємопов'язані + розповсюджені $\Rightarrow$ Розширення доменів: коли операційне середовище розширюється і охоплює космос, кібер і більш широку інформаційну сферу, необхідність думати, планувати та працювати в широко розпорошеному, взаємопов'язаному та багатодоменному режимі стане ще більш критичною. Зростаюча кількість та широке розповсюдження багатодоменних датчиків, багатодоменних місій та зростаючі можливості обробки даних, що все більше вбудовуються в мережі, обумовлюють нові вимоги до домінування, можливостей контрдомену, захисту, контрзаходів, заходів проти контрзаходів та інших вторинних функцій. Посилення експлуатації нових доменів неминуче призведе до пошуку переваги домену з супутніми витратами та потребами щодо можливостей.

– Інтелектуальні + цифрові $\Rightarrow$ Точна війна: посилення цифровізації серед можливостей C4ISR, а також мініатюризація, обробка даних та зниження витрат є основою технологічних розробок, що призведуть до більш інтелігентних, взаємозв'язаних та розповсюджених систем. У сукупності це різко збільшило розвиток можливостей для точного удару та орієнтації на ефект. Напад з декількох напрямів та використання дешевого високоточного озброєння створюють небезпеку для великих дорогоцінних можливостей, тоді як посилена цифровізація відкриває нові і досі непередбачувані вразливості. Нові датчики, наприклад, з використанням квантових технологій, посилена довіра до синтетичних реалій (віртуальні, соціальні, змішані, двійники тощо) представлятимуть ризики та можливості. Використання все більш досконалих аналітичних інструментів, що сприяють збільшенню обсягів цифрових даних, призведе до розвитку нових операційних можливостей, наприклад, нові конструкції гіперзвукової зброї, розроблені з використанням моделей обчислювальної динаміки, дедалі більш високої надійності та вбудованих датчиків.

Штучний інтелект змінить середовище роботи і ведення війни, тоді як наявність цифрових даних надасть можливість розповсюдженим та взаємопов'язаним автономним системам аналізувати, адаптувати та реагувати

на них. Ці зміни, в свою чергу, потенційно сприятимуть кращому прийняттю рішень через прогностичну аналітику.

Технологічний розвиток є виразно циклічним на багатьох рівнях. Найвідоміший із цих циклів – це цикл хайпу Гартнера, заснований на роботі Говарда Фосдіка з питань соціології адаптації технологій (рис. 5.1).

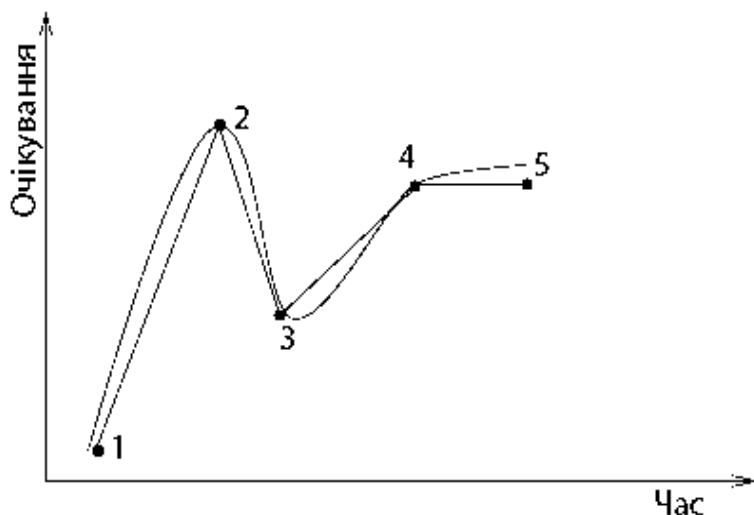


Рис. 5.1. Цикл Гартнера.

де; 1 – тригер інновацій; 2 – максимум очікувань; 3 – пік розчарувань; 4 – підвищення інтересу; 5 – плато продуктивності.

Технології не завжди прогресують від початку до кінця такого циклу, в реальності більшість технологій зазнають крах. Багато напрямків науки або технологічних відкриттів ніколи не створюють проривів для інновацій, або вони зникають із суспільної свідомості після початкового захоплення як непродуктивні напрямки розвитку, або можуть

з'явитися згодом як нові конвергентні розробки, що породжують стару ідею.

Нарешті, навіть успішні технології можуть з'явитися, коли нові ідеї створюють ініціатори інновацій, а старі технології стають настільки інтегрованими у виробничі системи, що первісний зв'язок втрачається на всіх, окрім технічно усвідомлених.

Такий еволюційний процес, побудований на героїчних невдачах або творчих помилках, має важливе значення для науково-технічного прогресу, оскільки уроки та ідеї, що виникають, часто призводять до абсолютно нових напрямів дослідження, інновацій та розвитку.

Під час циклу хайпу успішна тенденційна технологія, імовірно в кінцевому рахунку пройде через п'ять ключових фаз:

– Тригер інновацій: після тривалого періоду допоміжних досліджень потенційний прорив у новій технології починає проявляти перспективність. Цей початковий інноваційний тригер, що ґрунтується на ранніх експериментах, призводить до історії, що підтверджує правильність концепції, і викликає інтерес у ЗМІ. Ця іскра здобуває все більший розголос та активність пошуку в

Інтернеті. На цьому етапі не існує життєздатного продукту, а його комерційна життєздатність залишається недоведеною.

- Максимум очікувань: раннє оприлюднення створює безліч історій успіху і часто супроводжуються безліччю невдач. Інтерес, наприклад, виміряний пошуковими запитами в інтернеті, є на найвищому рівні. Деякі інноваційні компанії вживають заходів; але більшість – ні.

- Пік розчарування: обмеження технології стають зрозумілими, а деякі зусилля з впровадження не дають корисних результатів. В результаті загальний інтерес падає, а негативні історії частішають, хоча вони можуть бути надто песимістичними. Врешті-решт, деякі розробники та виробники переходять на інші сфери або виходять з гри. У цей момент відбувається роздвоєння, коли інвестиції та триваюча розробка відбуваються лише в тому випадку, якщо існує постійний прогрес шляхом вдосконалення основної технології, розвитку кращого розуміння того, де цю технологію можна застосувати, або конвергенції інших технологій чи попиту. Якщо цього не відбудеться, технологія з часом буде визнана непродуктивною і повністю зникне з розгляду, або повернеться до місця свого старту і чекатиме подальших розробок, технологічної конвергенції чи зміни обставин.

- Підвищення інтересу: З кращим розумінням того, що є практичним і де технологію можна найкраще застосувати, потенціал починає кристалізуватися і стає більш зрозумілим і оціненим. Виникають продукти наступного покоління, і позитивна увага починає зростати з більш успішними випробуваннями та пілотними продуктами. Деякі компанії залишаються обережними.

- Плато продуктивності: відбувається прийняття основних напрямків. З кращим розумінням вартості, застосовності та обмежень, технологія знайшла свій ринок. Проблеми та нові ідеї все ще можуть виникати, що може спричинити новий цикл. В іншому випадку технологія стає настільки добре інтегрованою в технологічне середовище, що її використання стає загальним, поки її не витіснить новий технологічний прогрес.

Балансування між максимумом очікувань та нижньою точкою піку розчарування є критичним завданням у прийнятті рішень щодо інвестицій та довгострокових можливостей. Цикл Гартнера є корисним для цієї мети. Тим не менш, хоча підхід є добре відомим, є помітні вади в його використанні як інструменту оцінки та прийняття рішень. Зокрема, точне розміщення технології на такій кривій є проблематичним, оскільки увага зосереджена на хайпі, а не на вимірюванні кількості, наприклад, увазі. Тому, узагальнюючи, ми спростимо оцінку та опишемо стан технологічної уваги та розуміння лише для широких категорій. Ці

категорії: Тригер: нова технологія або наукове відкриття; очікування: підвищена публічність та обговорення; розчарування: вивчення обмежень; просвітництво: розуміння корисності; продуктивність: повноцінне застосування.

Загалом успішна наука і технологія проходить шлях розвитку із використанням рівнів готовності технології TRL, причому кожен крок є потенційним крахом або паузою для конкретної технології. Ці рівні дають змогу для інтерпретації зрілості технологій і, широко використовуються в промисловості та управлінні (таблиця 5.1.)

Таблиця. 5.1.

Рівні готовності технології.

Рівні готовності	Оцінка рівня
TRL 9	Фактична система, перевірена успішними операціями.
TRL 8	Фактична система завершена та кваліфікована за допомогою тестування та демонстрації.
TRL 7	Демонстрація прототипу системи у середовищі.
TRL 6	Демонстрація моделі системи / підсистеми або прототипу у відповідних умовах.
TRL 5	Перевірка компонентів та / або макетів у відповідних умовах.
TRL 4	Перевірка компонентів та / або макетів у лабораторних умовах.
TRL 3	Аналітична та експериментальна критична функція та/або доведення правильності концепції.
TRL 2	Формування концепції технології та / або її застосування.
TRL 1	Спостереження і підготовка доповіді про основні принципи.

Технології як і основні науки можуть бути невдалими у створенні нових оперативних можливостей або призупинитись у будь-якій точці на шляху до TRL 9+ через декілька факторів, включаючи взаємозв'язок або залежність від інших технологій, витрати, етику, політику або основні фізичні, інформаційні та людські обмеження. Однак невдалі розробки в галузі науки і технологій є критичними для інформування і, в кінцевому підсумку, породження нових підходів та технологій, які самі по собі можуть бути більш успішними в переході від основних принципів до операційних можливостей.

Слід зазначити, що виникаючі технології зазвичай знаходяться в діапазоні TRL від 1 до 5.

5.2. Домени науки і технологій

Цивільна та оборонна наука поділяється на три великі сфери, що охоплюють дослідження в людській (включаючи біологічну), інформаційній та фізичній сферах науки і технологій. Прив'язка EDT до цих трьох основних напрямів наукових досліджень допомагає забезпечити цілісний підхід до дослідження, розробки та експлуатації EDT. Оцінка використовує 3-бальну шкалу, що описує низьке, середнє або високе узгодження чи відповідність цього дослідницького напрямку при розробці EDT (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2.

Прив'язка EDT до domenів науки і технологій.

Спроможність яка очікуються буде ...	Актуальність досліджень EDT у цій галузі науки і технологій
Низька	Обмежена та вторинна за своїм характером
Середня	Поміркована в цілому або має суттєве значення лише для обмеженого сектору
Висока	Значна актуальність.

Руйнівні технології мають декілька базових понять, і далі ми їх розглянемо. Це – великі дані та розширена аналітика; штучний інтелект; автономність; космічні технології; гіперзвукові системи; квантові технології; біо та людські технології; нові матеріали та виробництво; конвергенція, взаємозалежність та синергія.

Великі дані та розширена аналітика (Big Data and Advanced Analytics – BDAA). *Big Data* описує дані, які є значними за обсягом, швидкістю, різноманітністю, правдивістю та візуалізацією. Посилена цифровізація, розповсюдження нових датчиків, нові режими спілкування, технології розумних речей та віртуалізація соціально-когнітивних просторів, наприклад, соціальних медіа значною мірою сприяли розвитку Big Data Advanced Analytics описує передові аналітичні методи для осмислення та візуалізації великого обсягу інформації. Ці техніки охоплюють широкий спектр методів, отриманих від наукових досліджень даних та рішень, включаючи штучний інтелект, оптимізацію, моделювання та симулювання, інженерію людських факторів та оперативні дослідження.

З початку 60-х років наш світ стає все більш цифровим і віртуальним.

Протягом наступних 20 років очікується, що ця тенденція прискориться та матиме принципово руйнівний вплив на операції та спроможності людини та країн. Набори даних такого масштабу, які складно обробляти логістично через

збільшення обсягу, швидкості, різноманітності, правдивості та візуалізації, представлятимуть суттєві технічні, організаційні та інтероперабельні виклики.

Датчики розподілу, автономність, нові технології зв'язку, наприклад, 5G ... 6G, посилене використання космосу, віртуальні соціально-пізнавальні простори, цифрові двійники та розробка нових й розширених аналітичних методів збільшать нашу здатність розуміти людський, фізичний та інформаційний простори навколо нас. BDAA – це технологія, що розрахована для всіх EDT і стане головною для їх експлуатації з метою розширених військових можливостей.

BDAA дасть змогу підвищити ефективність роботи, зменшити витрати, покращити логістику, моніторинг активів у реальному часі та прогнозовані оцінки планів. У той же час, це буде генерувати значно більшу ситуаційну обізнаність на стратегічному, оперативному, тактичному та промисловому рівнях. Ці програми призведуть до більш глибокого і широкого застосування прогностичної аналітики для розширеної підтримки прийняття рішень на всіх рівнях. Він має потенціал створити знання та переваги рішень, що буде важливим стратегічним руйнівником.

Промисловість інвестує значні кошти в BDAA і надалі буде лідирувати в процесі загального розвитку й застосування. Ефективність цього інвестування лежить в основі сучасної економіки знань.

У наступній таблиці 5.3 представлені оцінки потенційного впливу, стану та темпів розвитку, а також визначені напрями для цілеспрямованих досліджень BDAA.

Таблиця 5.3.
Розширені дані та удосконалена аналітика BDAA 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом), р.р.
Великі дані	Удосконалена аналітика	Револьюційний	Очікування	4	2025
	Комунікації	Високий	Навчання	6	2030
	Удосконалена політика прийняття рішень	Револьюційний	Несправдження очікувань	6	2025
	Сенсори	Високий	Очікування	4	2030

Штучний інтелект. Штучний інтелект (АІ) означає здатність машин виконувати завдання, які, зазвичай, потребують інтелекту людини, наприклад, розпізнавання зразків, навчання з використанням досвіду, формулювання висновків, підготовка передбачень або вжиття заходів у цифровому режимі як розумне програмне забезпечення, яке стоїть за автономними фізичними системами.

Наявність великих даних зумовило як розвиток, так і необхідність використання АІ. Починаючи з середини 1950-х років, АІ пройшов три первинні цикли розвитку. Як результат, АІ алгоритми вже глибоко вбудовані в сучасні технології наприклад, експертні системи і машинне навчання. Однак, у 2012 році відбувся значний крок вперед у їх застосуванні відносно вирішення практичних проблем, зумовлений вдосконаленням алгоритмів, що лежать в основі глибокого навчання та всеосяжною доступністю значних загальнодоступних навчальних програм. У співпраці з BDAA АІ має потенціал для революційного впливу на операції військових та їх спроможності. АІ – це опора, навколо якої великі дані будуть перетворені на діючі знання, і, врешті-решт, перевагу рішень. Інтеграція АІ в бойові моделі та симуляцію, промислові системи, системи підтримки прийняття рішень, системи кіберзахисту та автономні транспортні засоби дозволять зробити швидким і більш ефективним прийняття рішень людиною та машиною. Використання АІ на датчиках для попередньої обробки інформації і забезпечення адаптивного використання частот, наприклад, когнітивний радар, а також пропускна здатність парадоксально призведуть до зниження трафіку зв'язку. Мета-аналіз наявних досліджень забезпечить нові відкриття, виявить зони перспективних досліджень та зможе надати вдосконалені науково-технічні інструменти для підтримки подальших досліджень.

У комерційному світі АІ є пріоритетним для сфери, в яку багато країн роблять значні інвестиції. Бізнес є основною рушійною силою АІ, хоча дослідження часто базуються на широко доступному інструментарію відкритих джерел та загальнодоступних даних. Крихкий характер більшості існуючих додатків та необхідність пояснення АІ є лише два серйозні технічні виклики, які ще залишається подолати. Складні проблеми, пов'язані з згуртованістю людей навколо АІ та психо-соціально-технічні питання також потрібно буде врахувати, але з дотриманням обіцянки щодо революційних застосувань. Незважаючи на такі обмеження, до 2030 року, оцінюються, що внесок АІ у світову економіку становитиме 15,7 трлн дол. США.

Розвиток штучного загального інтелекту AGI(тобто узагальненої інтелектуальної поведінки на рівні людини) представляє значну технічну проблему, незважаючи на понад 60 років досліджень AI. Вважається малоімовірним, що системи AI будуть відповідати цьому рівню пізнавальної здатності протягом наступних 20 років.

Забезпечення довіри до AI, поради, етичність та послідовність з національними правилами взаємодії вимагатимуть AI підходи з особливим акцентом на роз'ясненні, довірі та співпраці між людьми та AI.

Наступна таблиця 5.4 показує оцінений потенційний вплив, стан та швидкість розвитку, а також визначені напрями для сфокусованого дослідження AI.

Таблиця 5.4.

Штучний інтелект 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом)
Штучний інтелект	Удосконалені алгоритми	Револьюційний	Очікування	4	2030
	Прикладний AI	Револьюційний	Очікування	6	2030
	Симбіоз «людина-машина»	Високий	Провокування	4	2035

Автономність – це здатність системи реагувати на невизначені ситуації шляхом самостійного складання і вибору дій серед різних напрямків для досягнення цілей на основі знань і контекстуального розуміння світу, самої себе та ситуації. Автономність характеризується ступенем самостійної поведінки, а це рівень автономності, починаючи від повністю ручного до повністю автономного. Роботування – це вивчення, проектування та побудова автономних систем, що охоплюють усі рівні автономії, включаючи повний контроль людини. Безпілотники можуть дистанційно керуватися людиною або можуть діяти автономно, залежно від місії. Додатки включають доступ до недосяжних зон, постійне спостереження, довговічність роботів для підтримки солдатів, дешевші спроможності та автоматизовані логістичні поставки.

Історія автономних систем в обороні є тривалою та починається, щонайменше, з 1898 року з демонстрації Н. Теслою бездротового дистанційно керованого безпілотного човна. Однак, за останні 20 років відбувся значний поштовх використовувати автономну систему в широкому спектрі фізичного та віртуального

середовища. Успіх цих зусиль вбачається у збільшенні використання автономної платформи UxV, з ISTAR (інтелект, спостереження, націлювання та розвідка) і платформ точного удару і стають все більше поширені в операціях. Кінцева мета завжди полягала в об'єднанні людської та автономної системи на будь-якому рівні незалежної роботи у грізну команду, що дозволяє автоматизованій системі приймати нудні, брудні, небезпечні та дорогі завдання (4-D роботизація). Основна мотивація полягає у зменшенні витрат, скороченні комплектування і вдосконаленні операційної ефективності.

Підходи до автономії можуть варіюватися від повністю автономних до напівавтономних або навіть безпілотних систем. Конкретні рівні автономності – це функція датчиків, тип місії, зв'язки зв'язку, бортова обробка та правові і політичні обмеження. Застосування все більш і більш напівавтономних і повністю автономних систем в операціях різко розширяють майбутні спроможності в середовищі, де кожен солдат діє як група, кожен корабель – як група для виконання завдань, а кожен літак – як ескадра.

Розвиток автономних систем, першою чергою, визначається операційними потребами, такими як висотна довговічність (HALE), підвищення рівня інтегрованого AI та факторів людини-машини. Використання автономних систем значно посилиться, та забезпечуватиме операційні можливості протягом наступних 20 років.

Наступна таблиця 5.5 показує оцінений потенційний вплив, стан та швидкість розвитку, а також визначені напрями для сфокусованого дослідження, автономності.

Таблиця. 5.5.

Автономність 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р.
Автономність	Автономні системи	Революційний	Очікування	6	2025
	Командна взаємодія у форматі «машина-людина»	Революційний	Провокування	4	2030
	Автономна поведінка Контрзаходи	Високий	Очікування	4	2030
		Високий	Несправдження очікувань	5	2025

Космічні технології (ST). Зазвичай вважається, що космічний простір починається з 90 –100 км над рівнем моря (лінія Кармана). Космічні технології експлуатують або повинні конкурувати з унікальним робочим середовищем космосу, яке включає: свободу дій, глобальне поле зору, швидкість, свободу доступу; майже вакуум; мікро гравітацію; ізоляцію і екстремальність середовища (температура, вібрація, звук і тиск).

Людство ефективно використовує космос понад 60 років. Однак, з'явилися дві взаємопов'язані і взаємодіючі тенденції, які стали рушійною силою при експлуатації космосу та космічних активів. По-перше, глобальна комерційна космічна промисловість взяла на себе провідну роль не лише у розробці супутників, але й сенсорів, зв'язку та проведенні запусків. Це тенденція призвела до різкого зниження витрат на запуск, нові варіанти розгортання активів, базованих у космосі та майже у реальному часі комерційну доступність високоякісної космічної інформації (EO/IR, SAR та ELINT). По-друге, нові технології та способи виробництва змінили природу, доступність та витрати на використання простору, наприклад 3-D друк. Такі технології включали нові імпульсні опції такі як вдосконалені електроприводні системи, бортовий AI, вдосконалену робототехніку, дистанційне навколо орбітне обслуговування супутників, систему мініатюризації, удосконалені та нові датчики, 3D-друк, покращене зберігання енергії та ефективність, а також шифрувальні технології нового покоління. В результаті простір стає все більш комерційним, перевантаженим, суперечливим та конкурентоспроможним.

Використання космосу для C4ISR, навігації та оборони є центральним для багатьох існуючих можливостей. Це використання космосу і даних, отриманих з космосу, лише збільшуватимуться протягом наступних 20 років, забезпечуючи все більш дієздатні та повсюдні можливості C4ISR. У поєднанні з BDAA та AI, це може значно покращити ситуаційну обізнаність на всіх рівнях, підтримку, майже, в реальному часі, оцінок операційної ефективності та збільшення націленості на успіх. Однак, оскільки все більше можливостей держав покладаються на ці активи, ризики з боку ASAT (анти-супутникової) або роботизованих паразитарних систем стануть більш гострими. Все частіше переповнені орбіти, посилене використання великих сузір'їв малих супутників та підвищення рівня космічного сміття вплине на ефективність та надійність космічних систем.

Багато країн значно збільшили свою присутність у космосі та доступ до космічного простору. Тим не менш, очікується, що комерційні розробки та

збільшення використання даних, отриманих у космосі, будуть домінувати протягом наступних 20 років. Все більш потужні маленькі супутники та великомасштабні сузір'я/скупчення будуть сприяти більшому використанню простору.

Наступна таблиця 5.6 показує оцінений потенційний вплив, стан та швидкість розвитку, а також визначені напрями для сфокусованого дослідження, космічних технологій.

Таблиця 5.6.

Космос (системи) 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р.
Космічні технології	Платформи	Помірний	Очікування	6	2025
	Операції	Помірний	Очікування	5	2030
	Сенсори	Високий	Провокування	3	2035

Гіперзвукові системи (HWS). Системи гіперзвукової зброї (ракети, транспортні засоби тощо) працюють зі швидкістю, що перевищує Mach 5 (6125 км/г). У такому режимі дисоціація повітря набуває особливого значення, і зростаючі теплові навантаження становлять надзвичайну загрозу транспортному засобу. Гіперзвукові фази польоту відбуваються під час повторного входу з космосу в атмосферу або під час припливного/витриманого атмосферного польоту за допомогою ракетного, карабінного або комбінованого імпульсного циклу. До цього класу озброєння належать ударні ракети повітряного типу (HCM), маневрувальні засоби (HGV), знищувачі суден класу «земля-море» та спеціалізовані ударні літаки. Системи подібного походження можуть першочергово покладатись лише на кінетичні ефекти або включати додаткові боеголовки (ядерні або неядерні). Контрзаходи проти подібних гіперзвукових систем є особливо складними через їх швидкість та маневреність.

Дослідження гіперзвукових систем нараховує 70 років до початку космічної ери. Все ж останні події і випробування підвищили ймовірність розробки оперативної гіперзвукової зброї і її розгортання протягом наступних десяти років. Зазвичай, розглядаються чотири типи гіперзвукових систем: маневруючі гіперзвукові літальні апарати (HGV); повітряно-дихаючі гіперзвукові крилаті ракети (HCM); гіперзвукова рейкова зброя; гіперзвуковий літальний апарат з екіпажем. Основна увага цієї ЕДТ буде приділена ракетним системам (HGV та HCM).

Нові матеріали та методи приведення в рух останнім часом сприяли розробкам у гіперзвукових дослідженнях і значно збільшили ймовірність їх широкого операційного застосування. Китай, Росія, США, Велика Британія, Франція, Індія, Японія та Австралія всі відкрито визнали дослідження та тестування гіперзвукових систем. Ці системи є особливо стратегічно руйнівними з огляду на скорочені часи реакцій, труднощі в розробці контрзаходів і загроз, які вони становлять.

Гіперзвукові спроможності забезпечать підвищення ефективності проти пріоритетних наземних і військово-морських цілей. Через високі швидкості, вони також можуть обходитися без боєголовок, повністю покладаючись на масову та кінетичну енергію, тим самим спрощуючи конструкцію зброї. Такі швидкості будуть збільшувати шанси на вдалий постріл та зменшувати ризики перехоплення. Очікуються, що американські системи будуть розміщені до 2025 р, з підтримкою гіперзвуковими дронами – до 2035 р.. І Китай, і Росія продемонстрували вдосконалені надзвукові програми та обмежене полірування гіперзвукової зброї.

Більше того, ці переваги доступні для рівних за силою чи майже рівних за силою супротивників із гіперзвуковою зброєю. Зважаючи на високі витрати, пов'язані з розвитком гіперзвукових систем, навряд чи вони будуть доступні в цей період асиметричним антагоністам.

Гіперзвукова зброя складає значні виклики стратегіям та технологіям оборонних контрзаходів. Цей виклик є особливо гострим завдяки швидкості та можливостям великої маси. Контрзаходи із застосуванням м'яких підходів щодо враження (наприклад, заклинювання, обман тощо) можуть певною мірою бути корисними. Тим не менш, спрямована енергетична зброя (високо енергетичні лазери або пучок частинок) або космічні перехоплювачі дають найкращу загальну надію на знищення.

У наступній таблиці 5.7 представлено для оцінювання потенційний вплив, стан та темпи розвитку, а також визначені напрями для цілеспрямованих досліджень, гіперзвукових систем.

Квантові технології (QT) нового покоління застосовують квантову фізику та пов'язані з нею явища на атомному і субатомному рівнях, зокрема, квантове сумісництво і заплутаність. Ці ефекти підтримують значні технологічні досягнення, першою чергою, в криптографії, обчислюванні, точність та своєчасності навігації, зондуванні та візуалізації, комунікації, і матеріалах.

Гіперзвукові системи 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р.
Гіперзвукові системи озброєння	Платформи та імпульс	Високий	Провокування	5	2025
	Контрзаходи	Високий	Провокування	3	2030

Квантова механіка розвивалася з початку минулого століття і, зазвичай, застосовувалась для опису поведінки речовини на атомному рівні (менш ніж 10 нм). Квантові явища лежать в основі багатьох сучасних технологій, включаючи транзистор, ядерну енергію, електронні мікроскопи, надпровідність, фотоелектричні детектори, медичні зображення (функціональна магнітна резонансна та позитронна емісія), лазери та пристрої у твердому стані. Протягом останніх десяти років квантові явища, зокрема, сумісництво і запутаність, були використані для розробки нових технологій. Ці наступні покоління розробки включають: надчутливі датчики, неймовірно точні годинники, нерозривне шифрування і комунікації, квантові обчислення.

Більшість QT але не всі, знаходяться на ранніх стадіях розвитку і значні технічні виклики стоять перш, ніж будуть розроблені операційні системи. Застосування надчутливих гравіметричних, магнітних або акустичних датчиків суттєво підвищить ефективність можливостей підводної війни, що потенційно може посилити прозорість океанів. Квантовий радар має потенціал для перетворення схованих технологій у застарілі, забезпечення більш точної ідентифікації цілі та дозволяє приховане виявлення та спостереження. Точні годинники дозволять розробити системи точності позиціонування, навігації та синхронізації (PNT) для використання у заборонених або недоступних місцях GPS, наприклад, під льодом. Незламне шифрування квантового ключа буде підтримувати значно більш надійну та безпечну комунікацію.

Квантові обчислення, потенційно найбільш руйнівна квантова технологія з усіх, має потенціал класично виконати обчислювальні завдання в таких сферах як оптимізація, BDAA, AI та життєздатне моделювання та моделювання, що раніше не піддалася виконанню. Це обчислювальна межа має потенціал для значного підвищення рівня прийняття рішень та операційної ефективності.

Міркування щодо взаємосумісності будуть вирішальними для успішної реалізації деяких квантових активованих можливостей. Стандартизація навколо квантового шифрування та комунікативних протоколів буде тим чинником, що

більше викликатиме безпосереднє занепокоєння. PNT, датчики та обчислювальна техніка представлятимуть менше проблем з взаємосумісністю, так як вони будуть тісно інтегровані в операційні спроможності, але це також може призвести до значних відмінностей в оперативній діяльності.

З усіх технологій EDT QT є, мабуть, найбільш змінним в розвитку, стосовно якого здійснюються значні національні та комерційні інвестиції. Зокрема, операційна життєздатність нових датчиків, продемонстрованих на лабораторному рівні, є значною сферою постійних досліджень. Такий розвиток, як правило, погоджується на дуже низький рівень технічної готовності ніж інші квантові технології. PNT і QKD набагато ближче до оперативного поля.

Квантові обчислення або квантова інформатика були доволі суттєво висвітлені у ЗМІ та зазнали значного комерційного розвитку. Тим не менш, розвиток широко доступних загальних квантових обчислень тобто, здатних значно перевищувати теоретичні межі класичних обчислень, наприклад, квантове верховенство потребуватиме не менше ніж 15-20 років. Однак, застосування бізнесу поза дослідницьким середовищем передбачається через 5 – 10 років. Щоб цього досягти ціль вимагає подолати деякі значні теоретичні та інженерні проблеми, особливо навколо виправлення помилок, що може в кінцевому рахунку зробити такі системи непрактичними протягом цього періоду.

У наступній таблиці 5.8 представлено для оцінювання потенційний вплив, стан та темпи розвитку, а також визначені напрями для цілеспрямованих досліджень квантових технологій.

Таблиця 5.8.

Квантові технології 2023 – 2040р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р
Квантові технології	Комунікації	Високий	Провокування	5	2030
	Інформаційна наука	Революційний	Провокування	4	2035
	Точна навігація	Високий	Несправдження очікувань	6	2025
	Сенсори	Помірований	Провокування	3	2040

Біо- та людські технології (BHET). Біотехнології використовують організми, тканини, клітини або молекулярні компоненти, отримані з живих істот, для впливу на живі істоти; або діяти, втручаючись у роботу клітин або молекулярних компонентів клітин, включаючи їх генетичний матеріал.

Технології удосконалення людини (НЕТ) є біомедичні втручання, які покращують людську форму або функціонування понад те, що необхідно для відновлення або підтримки здоров'я.

Маніпуляція нашим біологічним середовищем і людське вдосконалення сходять до найдавніших днів людства, коли наші пращури працювали зі шкурами, камінням та вели сільське господарство для створення еволюційних переваг. Однак, очікується, що біо- та технології удосконалення людини (ВНЕТ) будуть доступними протягом наступних 20 років. Вони змінять наше безпосереднє визначення того, що означає бути солдатом, матросом чи авіатором. Ці технології охоплюють спектр біологічних наук: генетичні маніпуляції для розробки нових патогенів або медичних препаратів протидії, виробничі методи, що використовують біологічні процеси, удосконалення людини через інтегровану робототехніку (наприклад, екзоскелети або змінні частини), нейронні інтерфейси, посилений зір, соціально-технічний симбіоз з AI та автономними системами, фармакологічні підходи до когнітивного та фізичного посилення, покращена віртуалізація соціально-пізнавального середовища, що підтримує розвиток нових соціальних, інформаційних та організаційних структур, нові біосенсиори та біоінформатика, що збільшають наше розуміння соціально-когнітивних, фізіологічних, економічних та неврологічних особливостей поведінки для підвищення операційних показників та стійкості.

Руйнівними науково-дослідними напрямками ВНЕТ, є:

- біоінформатика та біосенсиори: збір, класифікація, зберігання, пошук та аналіз біологічних та біохімічних даних;
- приріст населення: використання генетичних модифікацій, фармакологічних агентів, електромеханічних пристроїв або неврологічних інтерфейсів для підвищення фізіологічних та неврологічних показників людини понад встановлену межу;
- медичні контрзаходи та технології: розробка нової діагностики, терапії і вакцини (з використанням біоінформатики, генної інженерії та біосенсорів) для підтримки прогнозованої діагностики, виявлення ХБРЯ загрози та методи лікування;
- синтетична біологія: обдуманий дизайн, інженерія та створення нових синтетичних або модифіковано біологічних компонентів чи систем.

Ці зміни будуть та вже представляють важливі суспільні, правові та політичні проблеми.

У наступній таблиці 5.9 представлено для оцінювання потенційний вплив, стан та темпи розвитку, а також визначені напрями для цілеспрямованих досліджень біотехнологій.

Таблиця 5.9.

Біотехнології та удосконалення людини 2023 – 2040.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р.
Біотехнології	Біоінформатика	Поміркований	Очікування	6	2025
	Приріст населення	Високий	Очікування	5	2030
	Медичні контрзаходи	Високий	Провокування	4	2025
	Синтетична біологія	Високий	Провокування	6	2025

Нові матеріали та виробництво (NMM) – це штучні матеріали з унікальними та новими властивостями. Нові матеріали можуть бути виготовлені з використанням методів, отриманих з нанотехнологій або синтетичної біології. Розвиток може включати покриття з надзвичайною жаростійкістю, високоміцну броньовану платформу, стелс покриття, збирання та зберігання енергії, надпровідність, вдосконалені датчики та дезактивація, оптове виробництво продуктів харчування, палива та будівельних матеріалів. Дослідження графену, інших нових 2-D матеріалів та топологічні матеріали – область високого потенціалу та зростаючого інтересу. *Виробництво добавок*, яке часто використовується як синонім 3-D друку, це процес створення майже довільного 3D суцільного об'єкту із цифрової моделі через багат шарове додавання матеріалів. Виробництво добавок може використовуватися для такого: швидкого прототипування; *insitu* виробництво та ремонт дислокованої військової техніки; виробництво точних, спеціалізованих або унікальних деталей.

Розвиток новітніх матеріалів та їх виробництво продемонструє як руйнівні, так і нові аспекти протягом наступних 20 років. Так аспекти цього EDT як гнучке виробництво, наприклад, 3D/4D друк, оцінюються як дуже руйнівні у сферах розвитку потенціалу, придбання та логістики. На передовій наукових досліджень знаходяться розробки та експлуатація нових матеріалів (наприклад, графен, вперше виявлений у 2004 році, та інші 2-D матеріали), нові властивості матеріалу, виготовлення досі неможливих конструкцій, нові методи виготовлення наприклад, на основі біотехнології; наномасштабні маніпуляції з

матеріалами; друк змішаних матеріалів; та використання AI та BDAA для пошуку нових матеріалів. Ці дослідницькі сфери зумовлені бажанням відкривати чи використовувати нові та унікальні фізичні властивості, наприклад, надпровідність, а також дешевші, міцніші, легші, довговічніші матеріали.

У таблиці 5.10 представлено для оцінювання потенційний вплив, стан та темпи розвитку, а також визначені напрями для цілеспрямованих досліджень, нових матеріалів.

Таблиця 5.10.

Нові матеріали 2023 – 2040 р.р.

EDT	Зони фокусування технологій	Вплив	Розгляд	Оцінка TRL, бали	Діапазон (за часом) р.р.
Нові матеріали	Новітні матеріали	Високий	Провокування	2	2040
	Виробництво добавок	Помірований	Навчання	7	2025
	Зберігання енергії	Помірований	Провокування	5	2030

Конвергенція, взаємозалежність та синергія. EDT рідко створюють вплив ізольовано. Натомість, вони найбільш руйнівні на кордонах фізичних, інформаційних або людських просторів або там, де ці EDT перекриваються або збігаються. Ці синергії, поряд із ситуативними відкриттями та явними взаємозалежностями між наступними групами EDT, прогножуються, що матимуть особливе значення у розвитку майбутніх можливостей. Неможливо повністю охарактеризувати всі комбінації цих EDT, але шість вважаються потенційно найбільш руйнівними.

Синергетичне поєднання автономії, BDAA і AI, як очікується, буде найбільшим руйнівним фактором. Розширене використання інтелектуальних, широко розповсюджених, всюди поширених, дешевих, взаємопов'язаних сенсорів та автономних систем (фізичних або віртуальних) призведе до накопичення обсягів даних, які віртуально є неможливим проаналізувати з допомогою діючих методологій та підходів. Взаємопов'язані технології і методи будуть лежати в основі вирішення цих проблем. До таких технологій належать 5G, когнітивний менеджмент ЕМ, IoT та AIoT, кращі акумуляторні технології і, навіть, 3-D друк. Такі зміни, в поєднанні з підтримкою космічних, біо- та квантових технологічних

розробок, мають потенціал для створення переваги стратегічних та оперативних рішень.

Протягом 15 ... 20 – річного циклу квантові технології значно збільшать збір даних C4ISR, можливості для переробки та використання, завдяки значно посиленним можливостям сенсора, безпечній комунікації і обчисленню. Зокрема, квантові обчислення можуть значно збільшити швидкість моделювання та симулювання, а також надійність для прогнозної аналітики, і задіяти квантовий підхід до глибокого вивчення нейронних мереж для значно покращеного AI та даних аналітики. Це посилене обчислювальна і симуляційна спроможність також значно вплине на проведення науково-дослідних робіт з допомогою мета-аналізу існуючої науки та моделювання квантово домінуючих систем. Ця спроможність, своєю чергою, призведе до відкриття нових фундаментальних і прикладних наук, новітніх розробок, побудованих за призначенням генів чи організмів, а також до ідентифікації новітніх матеріальних, хімічних та біологічних властивостей. Все це має потенціал генерувати руйнівні наслідки після 2040 року.

Космос і гіперзвук становлять складні операційні домени. Розробка екзотичних матеріалів, новітні конструкції, мініатюризація, накопичення енергії, способи виготовлення та рушійні сили будуть необхідними, якщо космічні та гіперзвукові системи повинні будуть повністю використовувати притаманні переваги та можливості цих просторів. Космічні і гіперзвукові системи поділяють багато однакових викликів, пов'язаних з навколишнім середовищем. Розробка нових дешевих, міцних і виключно теплостійких матеріалів буде мати важливе значення для розробки практичних та доступних систем. Посилення використання 3D/4D друку буде також мати критичне значення, оскільки друк основних деталей (наприклад, двигунів) допоможе зменшити витрати та збільшити надійність.

Космос-квантум та квантові датчики на основі космічних технологій, що сприяють квантовому розподілу ключей. QKD і спілкуванню, призведуть до зовсім іншого класу датчиків, придатних для розміщення на супутниках. В даний час, обмеження потужності та чутливості датчика суттєво впливають на супутникову конструкцію та операцію. Менше потужні, більш чутливі і більш розподілені завдяки квантовим технологіям наступного покоління космічні сенсорні мережі стануть важливим аспектом майбутньої архітектури через 20 років. Розвиток широкомасштабних супутникових передач мереж квантової комунікації QKD (QC), буде важливим. Система QC «Супутник-Земля» продемонструвала свою спроможність на відстані понад 5000 км. Китай, зокрема, розробляє низку дуже амбітних демонстраційних проектів. Технологічні розробки протягом наступних

5–10 років, як очікується, значно розширять ці ранні експерименти та забезпечать технологічні рамки для належних комерційних можливостей.

AI та біотехнологія розвиваються експоненціально під впливом значно скорочених витрат, збільшених швидкостей та зростаючого комерційного інтересу. Наприклад, оригінальний проект генному людині зайняв десять місяців і коштував (у 2001 році) 3 мільярди доларів. Сьогодні, це займає менше однієї години і коштує приблизно \$ 1000.

AI у взаємодії з BDAA та біотехнологіями, матиме негативний вплив на світову економіку і здоров'я. Така комбінація EDT буде значною мірою сприяти розробці та відкриттю нових лікарських засобів, цілеспрямованих генетичних модифікацій, прямих маніпулювань біохімічними реакціями, розробкою оптимізованих біологічних агентів, «живих» сенсорів, розробкою нових ХБРЯ контрзаходів та ідентифікацією нових сфер для досліджень. Використання AI для оптимізації проектування нових біологічних агентів «молекула-молекула» або «клітина-клітина» значно розширить нашу здатність до виготовлення нових лікарських засобів, а також створить нові можливості для виготовлення засобів розпізнавання. Таке порушення не обмежуватимуться біологічними науками, але буде відображено у всіх сферах розвитку науково-дослідної роботи.

AI, спільно з BDAA, сприятиме розробці нових матеріалів, ідентифікації та дизайну унікальних фізичних властивостей, прямій маніпуляції хімічних реакцій, створенню новітніх конструкцій та ідентифікації сучасних сфер для досліджень. В особливості, це підтримає розробку 2-D матеріалів.

Навколишнє середовище. Захист та збереження довкілля є надзвичайно важливою проблемою, коли справа стосується оборони та безпеки. Як зазначалося, екологічні порушення можуть швидко призвести до проблем всередині суспільства, або використання токсичних матеріалів у зброї може зробити великі території непридатними або небезпечними. Довгострокове управління навколишнім середовищем (міське, космічне, морське, сухопутне та повітряне), включаючи врахування питань збереження флори та фауни, є важливим фактором у розробці збройних системи, а також у проведенні навчань.

Зміна клімату буде головною руйнівною силою в наступні десятиліття. Посилення нестачі та контролю за продуктів харчування, нестача прісної води, зменшення біорізноманіття, конкуренція за мінеральні та енергетичні ресурси призведе до виклику для глобальної згуртованості та енергетичного балансу. Зміна клімату та підвищення рівня моря загрожуватимуть людям та містам, що призведе до масової міграції цілих суспільств, які борються за адаптацію. За прогнозами, до

2050 року понад 150 мільйонів людей у всьому світі, які зараз проживають на суші, опиняться нижче рівня моря. Прогнозована втрата цілих островів, прибережних районів та міст призведе до викликів, які постануть перед національними кордонами та економіками, що призведе до подальшого соціального, економічного та військового протистояння.

Інші фактори. Відповідно до інших досліджень, ми також помітили, що низка інших стратегічних тенденцій можуть впливати на майбутні можливості. До них належать:

- зміна характеру роботи: посилена опора на штучний інтелект та автономію призведуть до зміни характеру роботи;
- освіта: використання віртуальних реалій, штучного інтелекту, великих даних тощо дозволить персоналізувати навчання;
- автоматизована логістика: штучний інтелект та автономія все більше дозволяють автоматизувати перевезення та логістику;
- харчові та водні технології: Застосування нових матеріалів та прийомів, а також біоінженерії і біотехнологій можуть збільшити запаси води та продовольства;
- людський капітал: старіння глобального населення, економічна міграція та нерівномірність розвитку в межах країн поставлять виклик перед суспільством та рекрутігом військової сили. Крім того, здатність суспільства використовувати та поглинати нові технології обмежується наявністю талановитих та кваліфікованих людей, здатних та бажаючих прийняти виклик. Демографічні зміни, втрата робочих місць через розвиток штучного інтелекту та автономії, глобалізація талантів та зростаюча невідповідність навичок можуть врешті-решт поставити під сумнів здатність управляти та поглинати виклики та використовувати можливості, представлені новими технологіями.
- зміна глобальних економічних рамок: посилення тиску на міжнародну економічну базу та її роз'єднання на захищені технологічні силоси (роздвоєння) заважатиме технологічному та економічному розвитку.
- інфекційні хвороби та пандемії: нові захворювання, зниження рівня вакцинації та зростаючий опір контрзаходам (наприклад, антибіотикам). Лише один приклад – COVID 19, що охопив весь світ в 2021 – 2022 р.р., показав, як ці інші фактори можуть впливати на весь світ.

Нижче розглянемо більш предметно руйнівні технології та їх зв'язок з потенційними напрямками розвитку машинобудування на етапі 2023 – 2040 р.р.

5.3.Розвиток науки і технологій, зв'язок із EDT.

5.3.1. Великі дані та розширена аналітика (BDAA)

Великі дані BDAA описують дані, які представляють значну кількість, швидкість, різноманітність, вірогідність та візуалізацію викликів. Посилення цифровізації, розповсюдження нових датчиків, нових режимів зв'язку, інтернет-речі і віртуалізації соціально-когнітивних просторів сприяли суттєвому розвитку. Розширений аналітичний матеріал описує аналітичні методи осмислення та візуалізації великих обсягів інформації. Ці прийоми охоплюють широкий спектр методів, проведених із науково-дослідних напрямків у галузі даних про дані та рішення, в тому числі штучний інтелект, оптимізацію, моделювання та симуляцію, інженерію людських факторів та оперативні дослідження.

Великі дані та провідна аналітика – це прямий наслідок наших все більш цифрових і віртуальних систем світу, і подальша потреба осмислити отриманий інформаційний потоп. Зокрема, аналітика – це процес породження розуміння, наприклад, за допомогою математичного аналізу та візуалізації та надання розуміння поточних станів системи або майбутніх станів системи. Аналітик часто стикається з даними, що мають значні обсяги, швидкості, різноманітності, правдивості чи виклики візуалізації. Велика кількість даних, доступних через майбутній фізичний, людський чи інформаційний бойовий простір, дозволяють аналітикам давати уявлення та прогнози, надавати підтримку рішень у режимі реального часу та висвітлювати ранні показники успішності та попередження про кризи. Посилення використання прогнозної аналітики та моделювання і симуляції буде надавати можливість особам, які приймають рішення, перевищувати свої пізнавальні межі, покращуючи розгляд, взаємозалежність, прозорість та часову динаміку. Врешті – решт це дасть змогу особам, які приймають рішення, краще розуміти потенційний вплив їх рішень та відповідно коригувати плани.

Багато аспектів BDAA добре розвинені, і, хоча вони є і надалі будуть руйнівними по суті, деякі сумніваються, чи це справді нова технологія на даний час.

Як вважається, BDAA включає чотири основні компоненти: датчики; спілкування; аналіз і прийняття рішень.

5 факторів: обсяг, швидкість, різноманітність, правдивість і візуалізація описують основну проблему BDAA: як зрозуміти велику кількість

неоднорідних даних, що надходять занадто швидко та мають потенційно сумнівну достовірність та точність.

BDAA покриває сфери людські (соціальні медіа, біоінформатика тощо), фізичні (сенсори) та інформаційні (кібер, аналіз тощо).

BDAA – це фундаментальна технологія і, як таке розуміння її прогнозованого розвитку є важливим кроком щодо розуміння інших нових та руйнівних технологій. Перспектива нагляду за технологіями BDAA буде забезпечена завдяки розвитку науково-технічних розробок у різних сферах, серед яких: експлуатація людських підписів; моделювання та симуляція для соціальних медіа; модульні мультисенсорні двигуни плавлення; надання та відкриття інструментів та послуг моделювання і симуляції в iCloud; візуальна аналітика; підтримка рішень та планування за допомогою моделювання на полі бою; області віртуальних місій; технології розподіленої книги (наприклад, блокчейн); когнітивне зондування; стисле зондування; обчислювальна візуалізація; глибоке навчання; зондування електричного та магнітного поля; фотонні інтегральні схеми; зондування злиття даних джерел; рійноцентричні системи та широкопосмугові телекомунікації.

Датчики надають дані у фізичній області та все частіше в людській галузі. Повсюдне зондування або «датчики скрізь» будуть суттєво включені зростанням зв'язку 5G та Інтернету речей (IoT). Концепція «сенсорів усюди» стосується можливості виявлення та відстеження будь-якого об'єкта чи явища на відстані шляхом обробки даних, отриманих від високотехнологічних, низькотехнологічних, активних та пасивних датчиків. Ефективно, коли всюди буде датчик, і кожен датчик буде мережевим. Військові програми будуть широкомасштабними, включаючи розробку багатодоменної загальноопераційної картини, широкомасштабні сітки підводних датчиків, експлуатація та використання як зброї соціальних медіа, автоматизоване логістичне планування, автономні системи та інтегровані солдатські системи. Хоча очікується розвиток сенсорних технологій для підтримки більшої точності, найбільш руйнівним розвитком буде поєднання подальшої мініатюризації, зменшення витрат, нового 3D / 4D виробництва, а також чистий об'єм та широке розповсюдження датчиків у військовій сфері.

Прогрес в технології матеріалів також обіцяє майбутні датчики в молекулярному, нано- або квантовому масштабі.

Технологічний розвиток нових сенсорних технологій буде стрімким протягом найближчих 20 років. Такий розвиток включає:

- розумний текстиль, пронизаний молекулярними (нанорозмірними) датчиками, що забезпечують моніторинг здоров'я та навколишнього середовища в режимі реального часу, широко доступний до 2030 року;
- радіолокаційні системи позагоризонтні наступного покоління та пасивні, що забезпечують нагляд за повітряним простором широкої площі, використовуючи складну обробку даних та технології багаторазового входу/виходу. Пасивний позагоризонтний радіолокатор, ймовірно, буде створений в прототипі протягом 5...10 років, а з повністю запрацює через 10...15 років. Дальність виявлення повітряної цілі може збільшитися з 350 км до 1500 км;
- квантове зондування, яке в довгостроковій перспективі призведе до революції в технології зондування, чому сприятимуть датчики дуже високої чутливості, здатні виявляти дальність літака, підводних човнів або підземну діяльність. Ця можливість дозволяє розробляти менші датчики більш високої продуктивності для моніторингу здоров'я та систем зброї;
- використання цифрових близнюків (високо деталізованих віртуальних моделей конкретної системи зброї);
- обчислювальна візуалізація СІ, яка обіцяє зробити революцію за допомогою електрооптичних та інфрачервоних датчиків, а також забезпечити підвищення чутливості. СІ відноситься до техніки формування зображення, яку використовують цифрові обчислення для відновлення зображення події. Компресивне зондування CS, складова СІ, передбачає захоплення меншої кількості спеціально розроблених вимірювань з місця події, що дозволяє відновити зображення або інформацію, пов'язану із завданням, застосувавши обчислювальну візуалізацію. CS має потенціал отримати зображення з подібним інформаційним вмістом і збільшити до його великого формату, використовуючи менші, дешевші компоненти пропускну здатності. Більш суттєво, може бути спроектовано гнучкий збір даних для збору інформації, що залежить від завдання та відповідної місії, керуючись місцем події. СІ може потенційно зменшити розмір, вагу, потужність та вартість системи, одночасно дозволяючи побачити ціль та спостерігати ситуацію (мультиплексований знімок), розширити діапазон сприйняття (нелінійний пристрій візуалізації, багатоспектральне зображення) та робити багатоцільові зображення;
- мікрохвильова фотоніка, яка забезпечує більш високу продуктивність, меншу потужність і більш надійне зондування та бездротове спілкування на полі бою.

Електромагнітний спектр та асоційовані способи комунікації знаходяться в центрі добору великих даних, застосовуючись і у датчиках, і у системах зв'язку.

Контроль електромагнітного спектру є необхідною умовою домінування в інформаційному просторі. Електромагнітне домінування - це можливість використовувати більшу частину спектру, поділяти спектр ефективніше, захищати використання спектру власними силами та унеможливити його використання ворогом. Майбутнє принесе, серед іншого, швидший, надійніший бездротовий радіозв'язок, електронні війни, стійкість, безпечне потокове відео та менший слід розгортання. У результаті електромагнітний спектр є і буде продовжувати все більше застосовуватися у військових та комерційних системах через високу пропускну здатність. Використання AI для підтримки когнітивних датчиків (наприклад, когнітивних радарів) та комунікацій, які швидко адаптуються для максимізації збору даних, стануть важливими для уникнення конфлікту в переповненому електромагнітному спектрі. Це буде особливо важливо для роботи в містах.

До 2025 року манки матимуть можливість затемнювати візуальні та теплові та радіолокаційні смуги та бути складовою частиною комплектів оборонних засобів. Технічно має бути можливість мати флоти робототехніки для оману, але прості манки, спрямовані на імітацію електромагнітного сигналу штабів маневрених підрозділів, швидше за все, будуть розроблені в найближчій перспективі. Електромагнітні наземні системи схованості та радіоелектронні трансляції обіцяють розвинути оборонні можливості майбутніх систем з електричним живленням.

Великі дані та розширена аналітика вмикається розповсюдженням комп'ютерів, тобто обчисленнями в будь-якому місці, у будь-який час та на будь-якому пристрої. Інтегровані з військовими мобільними мережами та iCloud місій, усюдисущі обчислення мають потенціал, щоб забезпечити підтримку рішень у реальному часі для окремого солдата у будь-який час та будь-якому місці. Такі сітчасті мережі підключених пристроїв дозволять використовувати сили, а також використовувати розподілені структури даних та послуги Cloud. Воно також охоплює функціональність програмного забезпечення з можливістю обробляти вхідні дані на датчик перед передачею та експлуатувати прогрес в шифруванні, що дозволить забезпечити впевнену передачу інформації через мережу.

Безпечне спілкування та зберігання даних є важливим у військових операціях. Бази даних є традиційними засобами зберігання та підтримання структурованих та пов'язаних даних. Зовсім нещодавно з'явилися технології (наприклад, блокчейн), які використовувались як розподілений, прозорий та постійний засіб управління даними, що лежать в основі крипто валюти Bitcoin. Посилене використання блокчейн-технології разом із підтримкою AI захисних кібер-ботів/агентів, квантовий розподіл ключів (QKD) і постквантове шифрування будуть значно підвищувати здатність до забезпечення надійної комунікації та зберігання даних.

Протягом наступних 20 років обсяг даних буде продовжувати зростати так, як кількість переносних і інтернетних пристроїв зростають експоненціально. До 2021 р. витрати через інтернет досягнули 1,4 трлн позицій, а до 2030 р. очікується, ще 500 млрд. позицій будуть взаємопов'язаними. Абсолютний об'єм даних, які вони створять, важко зрозуміти. Пов'язані з цим правові норми, політика та конфіденційність міркування, безумовно, нетривіальні. Для приборкання цього потоку потрібно буде розробити кращі інструменти для аналізу без аналітиків. Компанії будуть виявляти дедалі більший інтерес, орієнтований на аналітичні дані до критичних бізнес-операцій. Інтуїтивне прийняття рішень дещо зменшиться, оскільки компанії інтегруватимуть аналітику в цілому. Організації боротимуться з питаннями конфіденційності даних, безпеки та управління.

Методи візуалізації є вирішальним фактором для оцінки даних соціальних медіа, що впливають на прийняття рішень. Цивільний ринок широко використовує методи візуальної аналітики для маркетингових цілей. Ця технологія може бути частково передана в галузі оборони та безпеки.

Алгоритми машинного навчання зможуть встановлювати комунікації та приймати рішення в режимі реального часу.

Ті, хто приймає рішення, матимуть доступ до складних моделей симуляції, щоб обґрунтовувати термінове рішення. Доступ до моделей також буде доступний під час тренінгу для вдосконалення реалізму цієї технології. Гнучкі гаджети малої потужності для солдатів покращать інформаційний потік між тактичним та командним рівнями та покращать ситуаційну обізнаність. Квантове шифрування дозволить зашифровувати зв'язок між сторонами, назавжди позбувшись витоку інформації.

Дослідження великих даних та розширеної аналітики є високо дисциплінарним, із застосуванням комерційних та відкритих джерел. Ключовими напрямками їх досліджень та розробок є:

- інженерний захист: кіберагенти та агенти протидії соціальному інженерінгу (тобто боти) мають автоматично ідентифікувати, порушити та дослідити соціальні та кібератаки, ініційовані ботом;
- оптимізовані комунікації: новітні технології оптимізації мережевих ресурсів, пропускної здатності даних та (когнітивного) управління спектром (включаючи операції в оспорюваному та перевантаженому середовищі з обмеженими знаннями про інший пристрій, транспортні засоби або датчики в мережі) для розподілу програми або зондування. Дослідження включатиме вивчення нових режимів комунікацій (наприклад, 5G), мережі, методи постквантового шифрування та розширене використання когнітивних методів;
- аналітика: нові математичні, обчислювальні та людські фактори підходу до аналізу складних військових соціально-технічних систем (наприклад, оперативне командування), включаючи злиття галасливих та невизначених даних та прийняття оперативних рішень. Це включає моделювання та симуляцію складних багатомасштабних фізичних, інформаційних та інженерних систем. Розробка моделей виявлення даних, буде важливим аспектом цього дослідження, оскільки участь людини у розробці прогнозних моделей є вагомим обмежуючим фактором. Нові розподілені обчислювальні архітектури (крайові обчислення), а також пошук та оцінка технології, необхідної для виявлення, організації та представлення багатодоменого контенту;
- датчики: нові, розповсюджені, малопотужні та чутливі датчики, здатні до масштабної поведінки у мережі та самоорганізації (повсюдне зондування). Сюди входять розробки в аналізі, синтезі і оцінці сигналів з пасивних джерел (наприклад, біоінженерії), біосоціальних датчиків, ультисенсорні/багатодоменні джерела та крайові обчислення;
- довіра: поширені технології, кіберагенти, поліпшена візуалізація та прогнозована аналітика на підтримку надійного обміну інформацією та посилену підтримку у прийнятті рішень з боку людини. Це включає інструменти для ідентифікації та приписування шкідливих соціальних чи кіберсуб'єктів, а також розробка кіберагентів червоної команди для надання допомоги операторам кібербезпеки у визначенні кіберфізичних вразливостей людини.

У наступній таблиці 5.11 представлений потенційний вплив, стан та швидкість розвитку, а також визначені області для цілеспрямованих досліджень BDAA.

Таблиця 5.11.

Великі дані та розширена аналітика 2023 – 2040р.р.

Нові та (або) руйнівні технології	Фокус технологій	Вплив	Увага	Рівні готовності до технології, бали	Перспектива, р.р.
Великі дані	Провідна аналітика	Революційний	Очікування	4	2025
	Комунікації	Високий	Висвітлення	6	2030
	Ефективне прийняття рішень	Революційний	Правдивий	6	2025
	Датчики	Високий	Очікування	4	2030

BDAA і машинобудування мають всі ті тези, що наведенні були в цьому розділі раніше. Сучасні процеси виготовлення машин та їх частин дуже складні, багатоопераційні, мають велику часову потужність; вони складаються з автоматизованих частин цього процесу та керованих людьми деяких частин і гібридних.

В процесах виготовлення машин є багато операцій з EDT – лиття та кування, термообробка, електрохімічні та електрофізичні операції, зварювання, тощо.

BDAA на перспективу розвитку машинобудування будуть мати такий же вплив, як і на військову сферу, а в деяких прикладах повністю співпадати з цією сферою.

5.3.2. Штучний інтелект (AI)

AI означає здатність машин виконувати завдання, які зазвичай потребують застосування людського інтелекту, наприклад, розпізнавати зразки, вчитись на досвіді, робити висновки, робити прогнози або вживати заходи – цифровим чи розумним програмним забезпеченням, яке стоїть за автономними фізичними системами.

AI імітує такі аспекти людського пізнання як сприйняття, міркування, планування, і навчання. AI здатний самостійно виконувати завдання, такі як планування, розуміння мови, розпізнавання предметів і звуків, навчання та вирішення проблем. AI був визначений як найбільший технологічний виклик, який

стоїть перед сучасними країнами. Деякі називають AI найважливішою технологією, яка була коли-небудь винайденою. Протягом наступних 20 років очікується, що AI матиме значну деструктивну силу через його вплив на:

- експлуатацію посиленої цифровізації та наявних внаслідок цього дуже великих наборів даних, включаючи загальнодоступні дані для системного навчання та розвитку;
- широке розповсюдження та використання в кіберфізичних системах;
- нові сфери застосування, зумовлені збільшенням інвестування та ширшим впровадженням методів AI;
- прийняття рішень та оптимальний контроль, наприклад, енергосистеми, інвестиції тощо;
- обчислення, усюдисущі датчики, дизайн бази даних, інструменти розвитку, хмарні обчислення, нові алгоритмічні підходи та використання AI для завантаження програми розвитку AI;
- розробка передових інструментів аналізу великих даних та комп'ютерної візії.

З моменту свого започаткування в середині 1950-х років AI пройшов три цикли розвитку.

Початковий період зосереджувався на підходах, заснованих на правилах (дерево рішень, Boolean та нечітка логіка), наприклад, експертні системи.

Другий цикл був зосереджений на розробці та застосуванні статистичних методів, тобто наглядове, непідконтрольне та посилене навчання. Такі методи машинного навчання отримали високу позитивну оцінку та лежать в основі всього, від фільтрації спаму електронної пошти до пошуку в Інтернеті.

Третій цикл розвитку спрямований на використання біоінспірованих методів навчання (нейронні мережі, глибоке навчання).

Незважаючи на те, що основних успіхів продовжують досягати у методах глибокого навчання, нові напрямки досліджень теж розробляються, включаючи нейроморфні обчислення, які намагаються більш точно імітувати нервову структуру та роботу мозку людини, а також змагальне машинне навчання, яке прагне зрозуміти, як переплутати системи AI. Ще однією перспективною областю є ймовірнісна обчислювальна техніка, покликана вирішувати невизначеність, неоднозначність та суперечливість у природному світі. Дослідження в цих областях включають нові машинні та глибокі методи навчання, орієнтовані на використання менших навчальних наборів та

пояснень. Ще одним важливим напрямком у сфері дослідження буде розробка нової машини та алгоритмів глибокого навчання, заснованих на квантовій інформатиці та квантових комп'ютерах. Продовження науково дослідницької діяльності на базі нових і більш загальних алгоритмах матиме вирішальне значення під час підтримки поточного розвитку AI та виведення AI за межі його сучасних практичних обмежень.

Науково-дослідницькі можливості існують для істотного розширення аналізу великих наборів даних, у тому числі пов'язаних з сенсорною обробкою даних, синтезом та аналізом. Дійсно, очікуваний тривалий швидкий вибух в оцифрованих даних зробить залучення AI та його похідних ще більш корисним та створить практичну необхідність для BDAA. Щоб краще це зрозуміти наведемо приклад. У 2020 році в світі мали 44 трлн гігабайт цифрових даних, при чому очікувана ставка щорічного зростання була близько 60%, з понад 500. Без AI, перед фізичними особами та організаціями постане завдання перетворити ці безглузді дані в діючі знання.

Залежність від великої кількості даних є одночасно і силою і слабкістю AI. Якість даних, зокрема, є критичною під час вироблення оцінки та навчання. Спирання на великі кураційні та фільтровані (навчальні) набори даних є важливим елементом багатьох алгоритмів AI і здійснює суттєвий внесок у крихкий характер багатьох AI-застосувань. Проводяться дослідження з розробки більш адаптивних та ефективних алгоритмів машинного навчання, які вимагатимуть менш маркованих даних і будуть здатні робити висновки із розрідженими або суперечливими даними, роблячи їх простішими у навчанні, більш стійкими до непередбачуваних реальних умов та узагальнюючи нові середовища. У подібному руслі проводяться дослідження щодо використання оманливих даних та змагальних атак, за допомогою яких викид шкідливих даних може використовуватися для маніпулювання або надання оцінки системи AI. По мірі того, як системи AI стають всюди сущими і лежать в основі прийняття рішень складних систем, набуватиме все більшого значення розробка відповідних контрзаходів і алгоритмічної стійкості.

Розвиток симбіотичного AI, тобто зосередженого навколо людей, коли люди та когнітивні машини працюють разом як надійні партнери в складній гібридній системі, є суттєвим викликом у сфері досліджень.

Симбіоз «людина-машина» забезпечує більш надійний та потенційно більш ефективний приклад використання сили як людини, так і машини.

Застосування AI вважається пріоритетним напрямком інвестицій в науково-дослідній галузі в усьому світі. Розвиток промисловості спонукає значні розробки в галузі застосування AI. Все-таки просування в області застосування та розробки AI значною мірою були викликані розробкою та доступністю інструментів з відкритим кодом та публічно доступних даних.

AI стикається з низкою критичних проблем, які формують декілька напрямків дослідження:

- розширені алгоритми: підвищення ефективності та узагальнення AI. Необхідно продовжувати дослідження в галузі машинного та глибокого навчання, змагального AI, а також нейроморфні та ймовірнісні обчислення;
- симбіоз людини-машини: прогрес в інтерфейсах, людиноцентричний AI, візуалізація, пояснення та соціально-технічні наслідки (наприклад, динаміка команди);
- застосування AI: AI – це основна технологія, яка підтримує прогнозування, прописує шляхи реагування та займається когнітивним аналізом даних. Існує потреба в процесах для перетворення як структурованих даних, наприклад, методи машинного навчання з різним рівнем складності, від регресії до нейронних мереж, так і неструктурованих даних, наприклад, за допомогою глибокого вивчення та обробки природних мов, на інсайти та прогнози для осіб, які приймають рішення. Ці інструменти можуть бути застосовані під час вирішення проблем у критично важливій сфері оборони та безпеки.

5.3.3. Автономія

Міні, мікро та нано UxV – це нове рішення для широкого кола сучасних звичайних та військових місій. Дослідження в цій області спрямовані на використання біоміметичних матеріалів, наприклад, «штучних мідій», а також рушійної сили та поведінки. Розвиток дешевого флоту мікро – UxV буде важливим елементом майбутніх мереж IOT ICP.

Завдяки широкій доступності у реальних та віртуальних областях виникають значні проблеми в поєднанні між людиною та машиною. Цей виклик виникне в усьому спектрі автономних операцій. Більшість сучасних систем віддалено управляються оператором, який приймає керівництво, оцінку ситуації та прийняття рішень. Ці системи продемонстрували безперечну цінність, відіграючи життєво важливу роль, такі як тренування на імпровізованому вибуховому пристрої, повітряне спостереження, перевірка на

контрольно-пропускних пунктах та розміщення наземних чи морських мін. Хоча ці системи допомагають зберегти військовослужбовців в безпеці та покращують можливості розвідки та спостереження, сучасні безпілотні системні технології призводять до збільшення потреб у робочій силі та збільшують когнітивне навантаження на військового. Незважаючи на те, що деякі автономні системи були введені в останніх безпілотних пристроях, їм не вистачає інтелекту, щоб фактично зменшити потреби в комплектуванні, зменшити когнітивне навантаження військових або збільшити темп операцій. Інтелектуальна автономія дозволить забезпечити можливості, які наразі неможливі, такі як довготривалі безпілотні підводні транспортні засоби, де транспортний засіб місяцями може працювати без втручання людини чи центру управління.

Спільна автономія – особливість широко автономних систем, що діють як соціально-технічний колектив. Системи подібного характеру оцінюватимуть та інтерпретуватимуть величезну кількість сенсорних та розвідувальних даних для отримання дійсної інформації та рекомендацій для виконавця. Вони матимуть можливість приймати незалежні рішення та швидко діяти відповідно до цих рішень, та в той же час працювати як частина колективу. Цей рівень інтелектуальної автономії призведе до того, що системи, здатні діяти, в кінцевому підсумку як значний множник сили. Продовжуються дослідження щодо розробки процедур оцінки ефективності системи «автомобіля / оператора / команди» як функції автономності платформи.

Розробляються нові способи комунікації «людина-машина» для повного використання тандему «людини-машини», включаючи неінвазивні неврологічні та нейромоторні інтерфейси, віртуальні середовища, біосенсори, нові підходи та управління візуалізацією. Технічні обмеження людського контролю також повинні бути враховані та пом'якшені, оскільки робототехнічні та автономні системи піддаються відомим проблемам автоматичного зміщення, недостатньої обізнаності про ситуацію та моральній буферизації. Нарешті, коли ми рухаємося до безперешкодної інтеграції робототехнічних та автономних системи, соціально-технічні наслідки, особливо навколо поведінки та співпраці команди, потребуватимуть вивчення та кращого розуміння.

У контексті військових сенсорних систем, одна велика мультисенсорна платформа може бути концептуально розбита на сенсорну команду, що складається з обмеженої кількості платформ, де кожна платформа має менше або більш дешевші за вартістю датчики, ніж одна велика платформа. Потім ця

концепція може бути розповсюджена на мережу пристроїв, завдяки якому кожна платформа ще менша та має обмежені датчики продуктивності; однак втрати в роботі датчиків на кожній платформі можна компенсувати великою кількістю дешевих платформ у мережі.

Зграйна система є потенційно дешевою та надійною проти виходу з ладу чи руйнування вузлів у зграї, проте збільшуються організаційні складності. Розв'язання самосинхронізації і вирішення проблеми самосинхронізації для рухомих платформ прокладе шлях до мультисенсорного та мережевого варіанту зграї безпілотників. Зграї можуть також проявляти пристосованість та інтелектуальну автономну поведінку через відносно просту локальну взаємодію та координацію.

Невеликі супутники швидко стають життєздатними платформами для виконання конкретних військових місій, а дешеві малі апарати ідеально підходять для широкого розгортання. Вони можуть нести загальні або спеціалізовані навантаження і можуть діяти окремо, разом у групі, або автономно у сукупності для виконання місій підвищеної складності.

Таким чином, групи маленьких дронів забезпечують потенційно високоефективні місії розвідки, спостереження та комунікації.

По мірі того, як роботизовані автономні системи, що мають здатність навчатись, набувають більш широкого поширення на полі бою та в інших невизначених середовищах, необхідно буде розробити інноваційні конструкції системи, а також нові методи аналізу, тестування та перевірки. Успіх у цій галузі дозволить швидше розгорнути системи з підтримкою навчання, а також зменшити операційні ризики. Оскільки роботизовані автономні системи, як реальні, так і віртуальні на полі бою стають все більш важливими, необхідність захисту власних сил стає дуже гострою. Використання перехоплюючих зустрічних зграй дронів, електронних контрзаходів, лазерів та інших енергосистем, спрямованих на енергію (наприклад, високочастотна радіочастотна зброя) пропонують деякі варіанти. Тим не менш, широкий спектр автономних систем, від великих висотних довговічних систем (HALE) до нано-БПЛА для спостереження або нападу, представляє багато технічних проблем для розробки ефективних контрзаходів.

Розвиток роботизованих автономних систем є важливим пріоритетом. Очікується, що комерційні інтереси створюватимуть широке розповсюдження легко доступних та розгорнутих систем, наприклад, автоматизованої логістики та транспорту. Для того, щоб зробити ці події перспективними, прогнозується,

що світовий ринок автономних транспортних засобів до 2024 року досягне 172,3 млрд дол. США. Воєнні інвестиції в такі технології зростають також. Так у 2020 року оборонний бюджет США додає 3,7 мільярда доларів нового фінансування безпілотних/автономних системних технологій та 927 мільйонів доларів пов'язаного фінансування на технології штучного інтелекту.

5.3.4. Квантові технології (QT)

Сучасні системи ґрунтуються на експлуатації класичної, статистичної, квантової та релятивістської фізики. Зокрема, *перша квантова революція* заклала основу для транзисторів, комп'ютерних мікросхем, лазерів, магнітно-резонансної томографії та сучасних комунікаційних технологій. Однак, хоча практичне застосування такої фізики перетворило природу сучасного суспільства, за останні десять років передові інструменти та глибше розуміння таких явищ надали технологічні можливості, які досі не снилися. Таким чином, зараз формується друге покоління квантових технологій, здатне виробляти та використовувати більш езотеричні та тонкі аспекти квантової феноменології. Очікується, що вплив цієї нової технології, яку іноді називають другою квантовою революцією, буде глибоким та широкомасштабним. У той час, як практичне застосування цих квантових ефектів другого покоління наразі досліджується і в багатьох випадках активно застосовується, існує розуміння, що це частина більш масштабної революції, яка потенційно може призвести до четвертої індустріальної епохи, створеної завдяки складній взаємодії автономності, сучасного виробництва, матеріалознавства, накопичення енергії та квантових ефектів нового покоління.

Квантові технології нового покоління розвиваються з феноменальною швидкістю, але програми захисту та безпеки не прогресують рівномірно серед чотирьох ключових напрямків діяльності: комунікації; обчислювальна техніка; точність позиціонування, навігації та часу (PNT); зондування.

Розробки для квантових обчислень насамперед керуються комерційними інтересами, тоді як ті, що стосуються квантового зондування, зв'язку та PNT, мотивуються інтересами оборони та безпеки. Національний рівень інвестицій є значним і зростаючим, але акцент залишається переважно на комерційних програмах. Співпраця між країнами буде сприяти просуванню основної науки, зокрема оборонних застосувань. Відповідно, у довгостроковій перспективі для QT, як правило, більш ніж 20 років від т.ч., очікується поступова зміна квантових можливостей, коли квантові пристрої можуть надійно

використовувати заплутаність, незважаючи на шум у різних масштабах часу та відстані, і коли кількість заплутаних логічних кубітів на пристрій збільшується.

1. Обчислення: Очікується, що квантові комп'ютери забезпечать на порядок кращі обчислювальні можливості, виходячи за теоретичну межу класично розроблених комп'ютерів для конкретних класів аналітичних задач, наприклад, оптимізація та моделювання. Цей обчислювальний стрибок дозволить забезпечити надзвичайно складні підходи до шифрування та дешифрування кодів, що зробить класичні криптографічні методи застарілими. Складні та швидкі методи моделювання і симуляції дозволять приймати складні рішення щодо оперативних та організаційних рішень, а також нові способи розробки досі нерозкритих матеріалів та біотехнологій, а також штучний інтелект нового покоління, наприклад, квантові нейронні мережі для проблем ідентифікації цілей та зображень.

2. Зондування: квантові датчики будуть у багато разів більш чутливі, ніж сучасні системи. Це сприятиме розробці радіолокаційних контр-прихованих та прихованих радарів. Магнітні, акустичні та гравітаційні датчики значно збільшать можливості боротьби з підводними човнами і, підтримку розробки досі практичних низькопотужних авіаційних та космічних датчиків високої чутливості. Деякі приклади застосувань призначені для всепогодної зйомки, денне і нічне тактичне поле бою, зондування короткої дальності. Квантові датчики потенційно більш стійкі до перешкод.

3. PNT Позиціонування, навігація і час: квантові ефекти підтримують розробку дуже чутливих точних приладів для PNT. Такі технології PNT дозволять здійснювати операції в режимі, коли GPS не працює, або в складних умовах експлуатації (наприклад, довготривалі автономні роботи під льодом). У коротко- та середньостроковій перспективі будуть встановлені прилади, придатні для експлуатації на великих мобільних системах, наприклад, на кораблях.

4. Комунікація та криптографія: розвиток нерозривної криптографії та здатність розшифровувати закодовані повідомлення за допомогою сучасних методів криптографії поставлять суттєві виклики для сучасних систем C4ISR.

У наступній таблиці 5.12 представлено оцінений потенційний вплив, стан та темпи розвитку, а також визначені напрямки для цілеспрямованих досліджень QT.

Таблиця 5.12.

КвантQT 2023 – 2040.

Нові та / або руйнівні технології	Області зосередження технологій	Вплив	Увага	Рівні готовності до технології	Часові показники, р.р.
Квант	Зв'язок	Високий	Спрямована	5	2030
	Інформаційні науки	Революційний	Спрямована	4	2035
	Точність навігації	Високий	Розчарування	6	2025
	Датчики	Помірний	Спрямована	3	2040

5.4. Космічні технології

Космос – зазвичай вважається, що він починається на висотах 90...100 км над рівнем моря. Космічні технології експлуатують і повинні протистояти унікальному робочому середовищу космосу, що включає: свободу дій, глобальне поле зору, швидкість, свободу доступу; майже повний вакуум; мікрогравітація; ізоляція; і, екстремальне середовище (температура, вібрація, звук і тиск).

Космос – це найвища вершина розвитку, і кожна країна фундаментально залежить від космічних можливостей у забезпеченні своєї місії. Це потребує доступу до національних або комерційних ракетноносіїв, платформ (супутників), датчиків, систем командування та управління і конфігурацій, які є стійкими до екзогенних та техногенних загроз. Визначимо 4 космічні можливості викладених у таблиці 5.13.

Наука і технології має великий інтерес до космічних технологій та використання космосу. Сюди входять використання чи технології, які більше відповідають цивільному сектору або мають унікальний національний інтерес, включаючи важкі пуски, астрономію, планетарні дослідження, спостереження за космосом та працездатність людини. Космічна технологія включає три основні компоненти:

1. Платформи: супутники, двигун, утримання станцій, силове устаткування, фотоніку, матеріали та активні/пасивні контрзаходи.
2. Датчики: високоефективне зондування.
3. Операції: включаючи контроль над космосом, космічна ситуаційна обізнаність, космічна погода, автономія, комунікації.

Космічні можливості та їх використання

Можливості космосу	Використання та наслідки
Позиціонування, навігація і синхронізація та швидкість	Точність удару
	Навігація військ
	Підтримка відновлення персоналу
	Ведення бою
	Пошук і рятування (БПР)
	Мережевий хронометраж
Комплексне тактичне попередження та оцінка загроз	Захист військ цивільного населення
	Спроможність
	Попередження про ракетний напад
Комунікації	Планування місії
	Вибір боєприпасів
	Прогнозування погоди
Розвідка, спостереження та рекогносцировка	Покриття виконання операцій (в операційних центрах)
	Оцінка бойових втрат (ОБВ)
	Розвідка
	Цілевказання

Невеликі супутники, які діють переважно на низькій і середній орбітах Землі, надають доступну науку та послуги академічним, комерційним та урядовим організаціям та пропонують значні переваги військовим. Активні індивідуальні супутники та цілі плеяди можуть бути розгорнутими із значно зниженими витратами в таких областях, як комунікації, розширена розвідка, спостереження, рекогносцировка та географічне позиціонування. Невеликі супутники - це космічні апарати масою менше 500 кг охоплюють кілька підкатегорій, включаючи: міні-супутники (100...180 кг); мікросупутники (10...100 кг); наносупутники (1...10 кг); пікосупутники (0,01...1 кг); і, фемтосупутники (0,001...0,01 кг).

Особлива категорія модульних малих супутників, т.з. кубічні супутники, має стандартний розмір 10x10x10 (см). Ці супутники значно дешевші, ніж великі платформи, дозволяють більше ризикувати і можуть бути швидко запуснені за меншу ціну. Більше того, малі супутники дозволяють розгорнути плеяди або формування космічних активів, які можуть виконувати завдання з підвищеною роздільною здатністю, повторним циклом використання і більш високою продуктивністю у плеяді супутників.

Як технологічне рішення, малі супутники значно просунулися за останнє десятиліття з навчальних та експериментальних платформ до здатного повноцінно використовуватись космічного активу. Мініатюризація корисних вантажів та вихід на ринок спеціалізованих невеликих супутникових служб запуску сприяла цьому розвитку. У деяких випадках невеликі супутники розширюють можливості звичайних великих космічних апаратів. Невеликі супутники також швидко стають життєздатними платформами для виконання конкретних військових місій. Вони можуть нести звичайні або спеціалізовані корисні навантаження і можуть діяти окремо, разом у плеядах, або самостійно у купі для виконання місій підвищеної складності.

5.5. Гіперзвукові системи.

Гіперзвукові ракети, апарати здатні до робочого застосування на швидкості вище 5 чисел Маха (6125 км./год.). На таких швидкостях повітря розщеплюється (молекули повітря розкладається на атоми, іони або вільні радикали), що призводить до надмірного виділення тепла, яке становить загрозу для самого апарату.

Фаза гіперзвукового польоту виникає під час повторного входу з космічного простору до атмосфери або під час тривалого польоту в атмосфері з використанням ракетної силової установки, літального гіперзвукового апарату або енергетичної установки комбінованого циклу.

Гіперзвуковий апарат може бути літаком, ракетою чи космічним апаратом. Практичне застосування технології можливе і доцільне коли потрібно нанести швидкий удар на велику дальність, що завдається по високо пріоритетним цілям, крім того можливе також використання у якості елемента протиракетної оборони, для ведення розвідки та повторного використання космічного транспортного апарату.

Гіперзвукова зброя є над швидкою та маневреною і розподіляється на три види:

1. Маневрений апарат з повторним входом до атмосфери, що літає по «траєкторії ковзання» (Hypersonic Glide Vehicle). При запуску використовує траєкторію балістичної ракети з подальшим переходом на «траєкторію ковзання» із досягненням гіперзвукової швидкості в атмосфері. Застосовується на висотах між 40 до 100 км. із досягненням швидкості до 25 чисел Маха;

2. Гіперзвукова крилата ракета (Hypersonic Cruise Missile) зазвичай авіаційного базування і приводиться у дію гіперзвуковим прямоточним повітряно-реактивним двигуном (ГППРД). Для приведення у дію ГППРД потрібен звичайний ракетний двигун, що розганяє ГППРД для досягнення ним швидкості 3 або 4 числа Маха, на якій відбувається його старт. Гіперзвукова крилата ракета зазвичай літає на висоті від 20 до 30 км.

3. Гіперзвуковий літак (Hypersonic Aircraft) Пілотований екіпажем літак або безпілотний літальний апарат, що використовується для нанесення удару або для ведення розвідки (для прикладу стратегічний надзвуковий літак розвідник SR-71 Blackbird зі швидкістю 3+ чисел Маха).

Балістичні ракети досягають схожих швидкостей але зазвичай дотримуються визначеної (балістичної) траєкторії польоту, що настає після використання пального. Саме через цей фактор вони виключені із цього оцінювання. Також це стосується електромагнітної рельсової гармати, що веде вогонь набоями з надвисокою початковою швидкістю польоту однак вони є неманевреними та під час їх запуску використовується електромагнітний імпульс. Наразі триває дослідження можливості використання електромагнітної рельсової гармати для запуску ГППРД.

Завдяки колосальній кінетичній енергії гіперзвукові ракетні системи можуть покладатись перш за все на завдання кінетичного ураження цілі, однак вони також можуть бути оснащені додатковими боеголовками (конвенційними або ядерною). Наразі відсутні ефективні засоби протидії гіперзвуковим бойовим системам (індивідуальним, залповим чи «роям») у зв'язку з їх надзвичайно високою швидкістю та маневреністю.

Основні розробки в галузі гіперзвукових бойових систем відбулись протягом останніх 60-ти років.

Однак нещодавні дослідження у цій сфері показали можливість їх бойового застосування. Гіперзвукова зброя використовує електронні ємності, якість датчиків та мініатюризацію для створення нової загрози. Вони швидкі та маневрені. Таке поєднання створює загрозу. В Росії, Китаї та інших країнах вже проводяться льотні випробовування, які показують швидкий прогрес.

Значними етапами в гіперзвукових дослідженнях були: експериментальна ракета X-15 (1967 р.), ранні пілотовані космічні модулі та капсулі для повторного входження в атмосферу (Mercury, Gemini, Apollo, Восток, Союз), космічні човники програми Space Shuttle, такі проекти ВПС США як X-43a та X-51A. Ці апарати мали типову конфігурацію побудовану на

основі схеми обтікання клину зі значним захистом від нагрівання та системами охолодження.

Експерименти з проведення гіперзвукових польотів можливі лише для держав з високорозвиненими науково-дослідними можливостями та за умов виділення значних фінансових ресурсів, так лише США витрачають щорічно 1 мільярд доларів на такі дослідження.

Наразі США, Росія та Китай є лідерами в галузі досліджень і розробок для застосування гіперзвукових апаратів у військових цілях. Зокрема, Китай демонструє значне науково-дослідне лідерство у багатьох аспектах гіперзвукових систем.

5.6. Біотехнології і технології підвищення людських можливостей (БТПЛС).

БТПЛС використовують організми, тканини, клітини або молекулярні компоненти, отримані з живих істот, для дії на живі істоти або для втручання в роботу клітин або молекулярних компонентів клітин, включаючи їх генетичний матеріал. *Технології підвищення людських можливостей* – це біомедичні втручання, які використовуються для поліпшення фізичної форми людини або для функціонування на період, більший ніж необхідно для відновлення або підтримки здоров'я. Технології підвищення людських можливостей можуть покращувати фізіологічні, когнітивні або соціальні функції.

БТПЛС складаються з чотирьох основних науково-дослідницьких сфер, які значно співпадають та доповнюють одна іншу. Вони перелічені нижче з прикладами застосування і напрямками досліджень:

- біоінформатика і біосенсори: invitro /exvitro датчики, медична інтроскопія, квантова біологія, прикладні великі дані та розширена аналітика;
- посилення людських можливостей: змішана реальність, віртуальна реальність, соціальні мережі, робототехніка, штучний інтелект, ендопротезування, екзоскелети, нейроелектроніка, реабілітація, нейробіологія, телеоперації, автономність, когнітивна діяльність, обчислення, надійна автономія, вдосконалення сприйняття;
- медичні заходи захисту та біомедичні технології: хімічно-біологічно-радіологічно-ядерні (РХБЯ) заходи виявлення та захисту, персоналізована медицина, біомаркери, біоінженерія, харчові добавки, харчування, фізіологія, витривалість, стресостійкість;

– синтетична біологія: генетична інженерія, секвенування і використання ДНК, біовиробництво, модифіковані мікробіоми, живі датчики.

Прогрес матеріалів, інформаційних систем та наук про людину створює основу для значного розвитку людських можливостей і розширює фізіологічні, когнітивні та соціальні межі діяльності людини. Дослідження та розробки в цих сферах забезпечуються швидкими паралельними розробками в галузі робототехніки і автономних систем, штучного інтелекту, великих обсягів даних та розширеної аналітики, мініатюризацією та інноваційними матеріалами і виробництвом. Як результат, розвиток БТПСЛ рухається приголомшливими темпами, що зумовлено проривами в дослідженнях, наприклад, відкриття CRISPR-асоційованого білка cas9 для редагування генів, значними національними інвестиціями та зростанням комерційного інтересу. Обмеження розвитку пов'язані з необхідністю проведення базових досліджень, а також етичними, юридичними та політичними застереженнями. Зокрема, існують серйозні проблеми навколо використання генної інженерії; оприлюднення персональних біоданих; використання фармакологічних розробок; етичності випробування нових видів лікування та новітньої першої медичної допомоги.

Можливо, з'являться нова теоретична біологія, де моделі та їхні прогнози тепер можна оцінити за допомогою експериментальної біології за аналогією взаємозв'язку між теоретичною та експериментальною фізикою. Цей момент може настати швидше, ніж очікується. Поєднання обчислень у структурі біологічних наук та біомедицини до 2022 року можливо, потребуватиме переосмислення обчислювальної біології як окремої дисципліни в недалекому майбутньому.

Розвиток дешевих та широко доступних біодатчиків суттєво сприяв цьому вибуху даних.

Біодатчики – це пристрої, які вимірюють біологічні, імунологічні, теплові, тиск тощо або біохімічні процеси і перетворюють їх на електричний сигнал. Вони можуть використовуватися для багатьох цілей, наприклад, нанодатчики, вбудовані в розумний одяг для виявлення РХБЯ–агентів; моніторинг лікування, наприклад, діабету; силіконові фотонні біодатчики, наприклад, решітки з волокна Бреґґа; швидко застосовані накладки для контролю фізіологічних чи когнітивних стресів, а також для забезпечення біомедичних досліджень.

Технології фізіологічного моніторингу людини вже є комерційно доступними, і більш досконалі пакети сенсорів вже з'являються у

середньостроковій перспективі. Успіх і технологічна конвергенція в матеріалах, інформації та гуманітарних науках дозволяють розробляти нові, більш дешеві, менші та надійніші біодатчики. Науковий і технологічний розвиток біоінформатики і біодатчиків буде в основному стосуватися їх новітнього використання, застосування нових аналітичних методів. Їх подальший розвиток забезпечить прогнозування діагностики та лікування бойових травм; операційну готовність, наприклад, надмірне тренування, дефіцит харчування, імунітет, здоров'я серця та травми м'язів і кісток, а також оцінка РХБЯ впливу.

Сучасні датчики, як правило, розроблені лише для оптимального виявлення. Наприклад, терористичні загрози та військові конфлікти сприяли розробці новітніх датчиків для виявлення вибухових речовин та засобів ведення хімічної війни. Мета сьогоденних досліджень на біодатчиках виходить далеко за межі оптимізації сенсорного матеріалу, і також включає створення розумного датчика, який зможе приймати рішення та діяти.

Дослідження в цій галузі включають використання: матеріалу з вуглецевих нанотрубок, полімерних нанопровідників та пористого силікону для створення датчика; машинне навчання, молекулярні обчислення на основі ДНК для роботи розумного біодатчика; біоелектроніки та нейроелектроніки, наприклад, мікроелектронних масивів нервових клітин для створення новітніх перетворювачів та фізіологічних біодатчиків. Розвиток біоінформатики та біодатчиків покращить моніторинг та біоситуаційну готовність завдяки використанню поглибленого збору даних та предикативного аналізу. Використання цих методик сприятиме підвищенню військово-медичної, бойової готовності і бойової підготовки, шляхом випереджального та превентивного реагування на екологічні або інші проблеми.

Посилення людських можливостей, розвиток людського потенціалу в широкому розумінні означають технології, що застосовуються для поліпшення форми людини або для функціонування не тільки в період відновлення або підтримки здоров'я.

Що стосується розвитку людського потенціалу БТРЛП ми використовуємо їх для висвітлення сфер людського потенціалу – фізіологічної, когнітивної та соціальної, а також використання роботизованих екзоскелетів, розумного текстилю, лікарських засобів та безшовних інтерфейсів «людина-машина».

Розробка нових технологій посилення людських можливостей (фізичних, фармакологічних, неврологічних чи соціальних) може потенційно змінити можливості окремого солдата, моряка чи льотчика та створити

інтегровані симбіоти «людина-машина» з безпрецедентними можливостями. Прикладами такого посилення в різних сенсорних модальностях є:

- посилення зору для сприйняття зображень, поля зору та ситуаційної обізнаності за допомогою імплантів, окулярів або контактних лінз. Ці удосконалення забезпечуватимуть обмін даними всередині групи; покращення визначення цілі; поєднання «людина-машина»; розширення зору поза видимим спектром;
- відновлення та запрограмоване управління м'язами через датчик оптогенетичного комбінезона;
- покращення слуху для зв'язку та захисту;
- направлене нейронне посилення мозку людини для двосторонньої передачі даних.

Очікується, що перші три з цього переліку технологій можуть стати широко доступними протягом наступних 20 років. Остання з них – безпосереднє нейронне посилення мозку - потенційно також є проривною, але, водночас, малоймовірно, що стане широко доступною до 2050 року, що виводить її за межі цього дослідження. Однак, розвиток направлених нейронно-силіконових з'єднань для забезпечення двосторонньої передачі даних та багатоканальних систем зв'язку, є реальною можливістю. Враховуючи останні досягнення в розумінні неврологічних компонентів та когнітивної будови мозку, нейроелектронні компоненти, які можуть ефективно реалізовувати мозкові алгоритми та безпосередньо взаємодіяти з біологічним програмним забезпеченням, пропонують нові технологічні можливості, які можуть суттєво вплинути як на цивільну, так і на військову сферу. Нейроморфні високошвидкісні та малопотужні електронні компоненти не фон-неймановської побудови і без аналогових процесорів, пропонують можливість автономних систем та різномірних комп'ютерних систем, що включають ці пристрої. Такі системи зможуть виконувати завдання так, як їх виконує головний мозок, але сьогодні це обмежує використання класичних комп'ютерів, наприклад, можливостями розширеного аналізу неоднорідних даних та обробки візуальної обстановки. Взаємодія цих пристроїв з біологічними системами пропонує нові методи лікування неврологічних захворювань та вдосконалені механізми взаємодії між головним мозком та електронними пристроями для кращого контролю штучних кінцівок.

Найближчим часом суттєві зміни в удосконаленні нашоломних дисплеїв протягом останніх п'яти років будуть завершені і зможуть запропонувати:

- покращення енергоефективності мікродисплеїв;
- вдосконалення технологій оптичного виробництва для оптичних поверхонь вільної форми;
- інтеграцію та швидке збільшення кількості смартфонів та бездротових каналів передачі даних.

5.7. Новітні матеріали та виробництво.

Новітні матеріали та виробництво (NMM) – це штучні матеріали з унікальними та новими властивостями. Сучасні матеріали можуть бути виготовлені з використанням методик, отриманих з нанотехнологій або синтетичної біології. Розробка може включати: покриття з надзвичайною жаростійкістю, високоміцне бронювання у бронежилетах або платформах, покриття для зменшення помітності (стелс покриття), збір та зберігання енергії, надпровідність, сучасні детектори та дезактивацію, масове виробництво продуктів харчування, палива та будівельних матеріалів.

Дослідження графену, інших новітніх 2-D та топологічних матеріалів – це область високого потенціалу та зростаючого інтересу. Аддитивне виробництво (технологія пошарового друку), яке часто використовується як синонім тривимірного 3-D друку, – це процес створення майже довільного 3D-твердого об'єкта з цифрової моделі за допомогою нашарування матеріалів. 3D-друк можна використовувати для: швидкого створення прототипів; виробництва та ремонту військової техніки у місцях розгортання; виготовлення точних, індивідуальних або унікальних деталей.

NMM є основою успіху промислової революції. Протягом наступних 20 років три основні напрямки науково-дослідної діяльності вважаються проривними: новітні матеріали; 3-D виробництво; енергія.

Дослідження нових матеріалів та сучасного виробництва - це широке поле для вивчення, яке стосується справді унікальних та дивовижних властивостей 2-D матеріалів, нових методів 3-D виробництва, унікальних конструкцій, розумних матеріалів, квантового моделювання і симуляцій, нанотехнологій та біовиробництва. Вони, у свою чергу, мають широкий спектр застосувань і, можливо, однією з найбільш руйнівних технологій є генерування та накопичення енергії, наприклад, батареї.

Революція у дослідженні двовимірних матеріалів сталася після відокремлення та визначення первісних характеристик графену, та зовсім недавно - сімейства топологічних ізоляторів та дихалкогенідів перехідних

металів. Ці та інші новітні матеріали викликали значне захоплення у науково-дослідних розробках, розпочате відкриттям графену в 2004 році та присудженням Нобелівської премії 2010 року з фізики його винахідникам Гейму та Новоселову. Графен – це новий матеріал на основі вуглецю з широким спектром надзвичайних механічних, фізичних, хімічних та електричних властивостей, які не зустрічаються ні в одному іншому відомому матеріалі. Він хімічно стійкий, нетоксичний, легкий і порівняно простий у виробництві з широко доступної сировини.

Індивідуальні властивості графена перевищують властивості звичайних матеріалів, а поєднання цих властивостей є унікальним. Очікується, що це призведе до значного вдосконалення матеріалів для застосування в аерокосмічному просторі (композитні конструкції), у високочастотній електроніці (терагерц, радіолокатор, охолодження), у виготовленні функціональних покриттів (проти обмерзання, захисту від корозії), у накопиченні енергії (батареї, ультраконденсатори), маскуванні (радіолокаційні поглиначі), у використанні збройових технологій (енергетика, ракети), а також для захисту (броня, текстиль), датчиків (фотодетектори, тиск / деформація, хімічні речовини) та портативних пристроїв (дисплеї).

Інші новітні 2-D матеріали, такі як фосфорен, гексагональний нітрид бору та дихалкогеніди перехідних металів, також продемонстрували унікальні та дивовижні характеристики.

Науково-дослідні роботи щодо 2-D матеріалів проводяться по всьому світу. Китай, зокрема, відіграє провідну роль у дослідженні 2-D матеріалів і поряд із Південною Кореєю, досяг суттєвого прогресу у напрямку комерціалізації. У січні 2013 року графен був визначений як один із двох флагманських проектів майбутніх технологій Європейського Союзу із бюджетом 1 мільярд євро за 10 років, що формує найзначнішу в Європі дослідницьку ініціативу. Основні властивості цих 2D матеріалів можуть бути вирішальними факторами для ряду майбутніх технологій. Поки залишаються проблеми щодо виробництва та масштабності, з часом графен та інші 2D-матеріали забезпечать кардинальні технологічні удосконалення. Разом з тим, розвиток військових спроможностей та застосування протягом наступних 10–15 років, швидше за все, буде еволюційним. Досягнення, практично напевно, будуть у площині комбінування 2D матеріалів для створення нових класів багаточарових гетероструктурних матеріалів, поряд з використанням традиційних сипучих матеріалів. Ранні експерименти навколо двошарових,

тришарових та скручених графенових листів також продемонстрували чудові електричні властивості, тобто надпровідність та продемонстрували перспективні результати у створенні біосенсорів.

Загалом очікується досягти покращення надійності, збільшення терміну експлуатації та зменшення ваги і розмірів. Це дослідження призведе до створення новітніх покращених пристроїв та застосувань, таких як:

- інтегровані зі звичайними напівпровідниковими пристроями удосконалені інфрачервоні приймачі для розпізнавання тепловізійних зображень або для досягнення більш швидкої оптичної модуляції для широкосмугового зв'язку; біологічні та хімічні військові детектори;
- мембрани для конкретних біохімічних молекул;
- електропровідні мембрани для гнучкої або друкованої електроніки;
- високошвидкісна електроніка для підтримки розвитку візуалізації та діапазону (радіолокації), а також терагерцевої (ТГц) частоти зв'язку;
- охолодження електроніки, завдяки використанню чудової теплопровідності графену;
- розробка оптоелектроніки та фотоніки графена для сонячних батарей, сенсорних екранів, фотодетекторів та надшвидких лазерів.

Нинішні дослідження 2D-матеріалів надзвичайно широкі, починаючи від генерації та зберігання енергії, оптоелектроніки та біохімічних сенсорів, і до легких, але механічно міцних тканин та електропровідних полімерів. З точки зору оборони, фокус може бути спрямований на ті технології, які можуть забезпечити ключові переваги в найближчій та середньостроковій перспективі. Однією з таких ключових областей, ймовірно, буде оптоелектроніка. У промисловості проводяться випробування на застосування графену для різних технологій, що стосуються таких галузей, як електроніка, медицина, аерокосмічна промисловість, автомобілебудування, накопичення енергії, знесолення води, композити, покриття та фарби, сонячні технології, нафта та комунікації.

Інші матеріали також вивчаються для застосування у галузі оборони. Кремній, хоча добре вивчений і широко застосовується, має додаткові властивості або стани, які представляють інтерес. Прикладом є чорний кремній. Це мікроструктурований кремній, який сильно поглинає видиме та інфрачервоне світло завдяки мікроскопічним поверхневим пасткам. Він може мати потенційне застосування у виробництві фотодетекторів, систем нічного бачення та сонячних батарей.

Інший тип досліджуваного матеріалу – це топологічні матеріали, клас квантових матеріалів, квантові стани яких неприродно стійкі в умовах зміни навколишнього середовища. Топологічні ізолятори представляють особливий інтерес через незвичне поєднання ізолюючих та провідних властивостей.

Адитивне виробництво (AB) або 3D-друк, як відомо, створює тривимірні тверді об'єкти практично необмеженої форми з цифрових моделей та широкого спектру металів, пластмас та смол. У технологічному процесі адитивного виробництва використовується процес послідовного нашарування адитивного матеріалу та укладання його в різні форми. AB відрізняється від традиційних методів обробки матеріалів видаленням, які покладаються на різання, фрезерування або свердління (віднімання). AB вже зараз сильно впливає на комерційні виробничі та постачальні мережі.

Існують деякі застереження у використанні 3D-друку – це обмеження розміру компонентів, точності та якості поверхні та потенційна потреба в механічній обробці після виготовлення. Отримані в результаті виготовлення матеріали можуть мати унікальні властивості, які неможливо отримати, або недоцільно виготовляти, використовуючи звичайні способи. Технології AB можуть бути використані, серед іншого, для швидкого виготовлення прототипів, виробництва та ремонту у місцях дислокації (розгортання) військової техніки, досягнення точності та виготовлення на замовлення унікальних деталей. Промисловість лідирує у розвитку 3D-друку: світовий ринок 3D-друку зростає з 5,8 млрд. дол. США у 2016 році до 55,8 млрд. дол. до 2027 р.

Протягом останніх 20 років методи, обладнання та технології AB там, де вони стали ключовою складовою особливо важливого виробництва та гнучкого виробництва, розвиваються стрімкими темпами. AB або 3D-друк – це широкий термін, що включає 7 основних технологій: фотополімеризація у ванні, струменевий 3D-друк, струменевий друк сполучною речовиною, екструзія матеріалу, запікання або плавлення порошкових матеріалів, ламінування слоїв, осадження матеріалу за допомогою направленої енергетичної впливу.

Сучасні методи AB застосовуються здебільшого для обмежених виробничих циклів, виробництва спеціалізованих конструкцій або створення прототипів. Системи 3D-друку, які поки що є невеликої кількості, зростають у популярності як на домашньому, так і на промисловому ринку. Таким чином, вони стають широко доступними і вийшли далеко за рамки друку простих 3D-пластикових моделей. Приблизно дві третини американських виробників вже використовують 3D-друк, а приблизно 50 відсотків застосовують його для

створення прототипів та кінцевої продукції. Тим не менш, системи АВ ще не знаходяться на рівні зрілості, необхідної для заміни традиційних методів обробки та виготовлення для широкомасштабного повного промислового виробництва. Проте ситуація змінюється, і наявність можливостей 3D-друку дозволяють зробити виробництво гнучким та таким, що матиме переваги в різних галузях промисловості.

Потенційними сферами застосуванням 3D друку вбачаються:

- концептне моделювання та створення прототипів;
- складні мало об'ємні складові частини, такі як двигуни ракет;
- заміна застарілих складових частин;
- структури, в яких використовуються легкі та високоміцні матеріали;
- змішані матеріали та інтеграція адитивно виробленої електроніки безпосередньо в/на складі частини;
- ремонт елементів техніки на полі бою, на борту кораблів або в космосі;
- великі структури безпосередньо на місцях їх потреби для подолання обмежень, обумовлених габаритними вимірами засобів транспортування;
- вироблення новітніх зразків, або використання унікальних матеріалів;
- великі структури, такі як будівлі (з використанням матеріалів на місці) або систем озброєння (таких як корабель);
- біо-матеріали, такі як тканини, органи та частини тіла для трансплантації.

Споріднений процес друку 4D поєднує 3D друк з передовими матеріалами, що є чутливими до умов навколишнього середовища. Ці матеріали програмуються для зміни їхньої форми чи фізичної поведінки під впливом навколишнього середовища (наприклад спека, тиск, потік, світло тощо).

Споріднені технології, нанотехнології є процесами видозміни матеріалів на атомному рівні, що часто призводить до виникнення нових характеристик матеріалів. Міністерство оборони Великої Британії прогнозує, що медичні нанороботи та засоби командування, управління, зв'язку, автоматизації, розвідки та спостереження C4ISR (наприклад мікро-радары для мініатюрних безпілотних засобів) почнуть використовуватися з 2030 року.

Сучасне адитивне виробництво (3D/4D) та нанотехнології мають пряме застосування у сферах оборони і безпеки. Однак, ці технології є також широкодоступними, і за своєю природою, є технологіями подвійного використання, таким чином це створює схожі умови для конкурентів та недержавних суб'єктів. Це також сприяє значному збільшенню для потенційних противників можливостей конструювати зразки, що отримані незаконним шляхом, або виробляти складові частини, що перебувають під заборонаю для розповсюдження, такі як елементи для сучасних повітряних суден та ракет.

Розвиток у впорядкуванні надзвичайно складних методів та інструментів, синтезі та зміні генетичного матеріалу призвели до швидкого підняття значимості такої дисципліни, як синтетична біологія. Такий розвиток, у свою чергу, відкрив нові підходи для дослідження та розвитку матеріалів – виробництво на нанорівні, біомонтаж та біовиробництво. Ці підходи використовують інженерно розроблені біологічні речовини (клітини, протеїни, гриби тощо) для збирання або побудови широкого різноманіття продуктів від фармацевтичних засобів, органів, тканин, шкіри до навіть бетону. Спеціалізовані біороботи або ксеноботи для виробництва на нанорівні також перебувають на ранній стадії розробки.

Зберігання та вироблення енергії є критичним аспектом для підтримки поля бою. Зростаюча багатовимірність та нелінійний характер сучасних конфліктів потребують її у величезних обсягах. Протягом останніх 10 років розвиток, зокрема, у зберіганні електроенергії та відновлювальній енергії, стрибнув уперед. Цей поступ уперед ґрунтується на розвитку нових матеріалів, методів виробництва, управління енергією за використання штучного інтелекту, а також підходів до збору енергії. Наприклад, літій-іонні батареї є ключовою технологією для сенсорів, транспортних засобів, граничного обчислення, мобільних пристроїв тощо. Важливість наукової роботи, що стоїть за літій-іонними батареями, була визнана врученням Нобелівської премії 2019 року у сфері хімії Джону Б. Гуденафу, М. Стенлі Уїттінгему та Акірі Йошіно.

Дослідження енергії включає широкий спектр тем та підходів, що мають соціальний та військовий попит, який щороку лише зростає. Цей попит не може бути задоволений лише через існуючі технології, потреба у значних технологічних проривах продовжує зберігатися. Дослідження нових способів збору, генерації, зберігання та управління енергією продовжується у прискореному темпі.

Це включає такі дослідження:

- відновлювальної енергії, такої як сонячної, вітрової, геотермальної та біо-паливної;
- гідрогену;
- синтезу (інерційний термоядерний синтез, магнітне стримування);
- збір енергії (бездротовий, біо механічний);
- накопичення енергії;
- управління енергією за допомогою штучного інтелекту;
- батареї (графенові батареї, вуглецеві нанотрубки, твердотілі батареї, метало-повітряні батареї тощо).

У розробці та використанні 2D-матеріалів не передбачається жодних викликів для взаємосумісності.

Розвиток адитивного виробництва потребуватиме розробки стандартів для проектування, програмного забезпечення, інтернет-протоколів, сертифікації та виробництва, якщо складові частини, виготовлені 3D/4D друком, будуть використовуватися у передових системах озброєння. Лише вимоги до безпеки передбачають, що якщо ми експлуатуватимемо адитивно вироблені частини повсякденно у високо-стресових сферах, таких як повітряно-космічна, тоді ми мусимо подбати про їх сертифікацію та дозвіл на застосування як основних чи запасних частин. Ця вимога потребуватиме глибокого розуміння усіх факторів, що призводять до різноманітності властивостей та методів, за допомогою яких проводиться точна перевірка, визначення характеристик та сертифікація компонентів. Використання цифрового проектування, сканування та 3D-друк частин може порушити інтернет-протоколи, або може підвищити ризик вчинення правових дій.

Дослідження графену та 2D-матеріалів перебуває на ранній, проте перспективній, стадії розвитку. Діапазон потенційного застосування графену та пов'язаних з ним технологій на цьому етапі не дозволяє зробити узагальнений висновок. Деяке застосування (ультраконденсатори, клеї та еластомери гумові шини) є доступними для комерційного сектору, тому ці застосування наразі знаходяться на 9 рівні готовності технології TRL.

Однак більшість матеріалів мають відносно низький TRL. Темп розвитку в деяких сферах швидкий, що обумовлено широкими державними та приватними інвестиціями. У короткотерміновій перспективі (0...7 років) відбудеться еволюція при застосуванні ультраконденсаторів, клеїв, еластомерів, невибагливих волокнистих композитів (спортивний інвентар), деякі матеріали

дозволять досягти TRL 9. На початку періоду у середньо терміновій перспективі (8...20 років) термоінтерфейсні матеріали для електронного охолодження досягнуть TRL 9. Деякі датчики та електронні програми будуть досягати комерціалізації і багато покриттів отримають корозійну стійкість. До кінця періоду буде досягнуто значного прогресу у багатофункціональних (структурних) камуфляжних покриттях(TRL 6).

Застосування біовиробництва у наномасштабах зараз знаходиться на найнижчому рівні технологічної готовності. Передбачається, що багато раніше невідомих синтетичних біоматеріалів та речовин розвиватимуться протягом наступних десяти – п'ятнадцяти років, досягнувши TRL 6. Поточний TRL деяких із можливих синтетичних біотехнологій буде можливий для застосувань у середньострокових часових рамках, які вже зараз демонструють TRL від першого до третього.

Технологія 3D/4D адитивного виробництва вже сьогодні використовується в різних галузях промисловості для різних цілей, в той же час швидко розвиваючись і поширюючись. TRL їх для військового застосування може бути оцінено від 4 до 6.

Підсумовуючи перспективи використання нових матеріалів у готових виробках намітимо ці адреси використання:

- графен – тверда графенова композитна броня та антикорозійні покриття виробів на порядок легший за існуючі сьогодні;
- самозарядні акумулятори для генерування та збереження відновлюваної енергії;
- будівництво укриттів із надзвичайно стійких та легких матеріалів, наділених ефектом пам'яті форми та здатних для розпаковування за короткий відрізок часу;
- штучно виражені або надруковані за допомогою 3D-друку частини тіла для трансплантації при травмах і спільні з організмом людини;
- «розумний» бронежилет високої гнучкості, стійкий до куль або теплових впливів;
- довговічні та економні освітлювальні прилади;
- платформний друк транспортних засобів, споруд, наприклад, будинків на Місяці, Марсі або десь ще;
- текстуровані вибухові речовини, надруковані 3D-печаткою;
- липкі матеріали, нанесені на руки, ноги, коліна для підйому чи спуску.

Висновок: після читання розділу 5 цієї книги читач має поставити запитання – а де тут машинобудування? BDAA та AI ще можна поєднати з будь-якою машиною, а космос, квантум, гіперзвук, біотехнології та нові матеріали?

Відповідь досить проста: будь-яка технологія – це послідовність дій за участю людей або без них, що виконується на робочих місцях. Це може бути верстат для обробки валу, процес для формування виробу, піч для випікання хліба, зброя для стрільби, безпілотник для розвідки тощо, тобто всі технології виконуються на машинах різного призначення, різних конструкцій та розмірів. Нові технології зазвичай вимагають нових машин для їх реалізації. Нано- або квантум технології неможливі без тунельних мікроскопів, нові жаростійкі покриття вимагають створення потужних лазерів.

Інша річ, що звичних нам машин у цих нових технологіях ми можемо не знайти, тобто ми очікуємо на появу нових машин – міні-, мікро-, максі-, або комбінованих. У Києві є музей умільця Сябростого С. – , який на рисовому зерні (розмір зерна Ø 4 мм, довжина ~ 6 мм) вирізав собор Лаври. Це лише мініатюризація: а от верстат, на якому ця робота зроблена. Він теж є на цій виставці, але автори сьогодні не змогли пофантазувати та тему, «верстати для нанооб'єктів». Буде час – буде прогноз!

Раніше вже зазначалося, що «військові» технології часто революційним шляхом входять у наше життя, наприклад, військові реактивні винищувачі та бомбардувальники, створені у 40-50 р.р. минулого століття послужили базою створення цивільної авіації. Така ж доля чекає і на деякі з напрямів, розглянутих нами. Свіжий приклад: 2022р., Мілан, Італія безпілотник використовують для доставки піци на адресу споживача. У Швеція є фірма, що «друкує» житлові будинки на 3D принтері і так далі.

Космос спочатку був суто військовим заходом і так було приблизно 50 років, але з'явився Ілон Маск, який створив свою приватну громадянську фірму з амбітним проектом «Марс. 2025 року»: на Марс планують відправити колонію людей для освоєння цієї планети.

Закінчуючи цей прогноз, автори хочуть заспокоїти читача тим, що нові технології мирно чи не дуже мирно паралельно існуватимуть із тим, що є зараз.

Будуватимуться будинки, дороги, мости – будуть потрібні будівельні машини. У Києві дорога земля, тому будинок буде висотним і потрібні будуть баштові крани або спеціальні монтажні вертольоти, а в Антарктиді може бути вигідно буде будинок побудувати на 3D- або 4D-принтері.

Сьогодні на дорогах землі бігає понад мільярд автомашин, і вони будуть бігати і через 20 років, але це буде можливо електромобілі або авто на водні або щось інше, але такі авто робитиме машинобудування – автомобільна промисловість.

У кожному будинку будуть побутові машини, правда, але інші за конструкцією. А холодильники, кондиціонери, пральні машини робитимуть на відповідних заводах.

Сьогодні активно обговорюється концепція «розумного» будинку, в якому ряд функцій виконуватиметься AI, є вже реальні приклади такого будинку.

У США кілька років тому породистому собаці автомобіль пошкодив дві лапи. Їй на 3D принтері було надруковано два протези і вживлено, і собака бігає за господарем, який їздить велосипедом на прогулянку. Цей приклад біотехнологій, але у світі вже сьогодні робиться кілька мільйонів операцій щорічно із заміни суглобів стегна, коліна, ліктя людини на заздалегідь виготовлені суглоби з титану чи кераміки. Щоправда, вони не всім підходять, а якщо їх надрукувати на 3D принтері під конкретний організм, як собаці зі США, результат буде ефектнішим.

Тож поживемо – побачимо!

Література

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. Т. 10 – Концепция развития технологии машиностроения. – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.
2. Жовтобрюк В. А., Новиков Ф. В. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ : монография. – Днепр: ЛИРА, 2019. – 480 с.
3. Новиков Ф. В., Жовтобрюк В. А., Андилахай А. А., Новиков Д. Ф., Полянский В. И. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.
4. Фролов К. В. Инновационные технологии в машиностроении. – М.: Ран, 2004. – 84 с.
5. Кремнев Г. П., Новиков Ф. В. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении. – Д.: ЛИРА, 2016. – 297 с.
6. Кремнев Г. П., Новиков Ф. В., Колесник В. М. Системы технологий : учебное пособие. – Д.: ЛИРА, 2015. – 140 с.

Навчальне видання

КРЕМНЄВ Георгій Петрович
КОЛЕСНІК Василь Михайлович
НОВІКОВ Федір Васильович
ЖОВТОБРЮХ Валерій Олексійович

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник

Надруковано з готового оригінал-макета
в авторської редакції

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,25. Тираж 50 прим. Зам. № 11(6).

Видавництво і друкарня «Екологія»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 23/1
(48) 7-855-855; (0482)33-07-17, 37-14-25

www.astroprint.ua

www.stranichka.in.ua

astro_print@ukr.net

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1873 від 20.07.2004

Надруковано з готового оригінал-макету ФОП Побута М.І.
65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1-а тел. 0689009282