

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

Практикум
для студентів усіх спеціальностей
першого (бакалаврського) рівня

Харків
ХНЕУ ім. С. Кузнеця
2018

УДК 62(07.034)

С91

Укладачі: С. М. Логвінков
О. М. Борисенко

Затверджено на засіданні кафедри природоохоронних технологій,
екології та безпеки життєдіяльності.

Протокол № 4 від 13.11.2017 р.

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Сучасні технологічні системи [Електронний ресурс] : практи-
С91 кум для студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського)
рівня / уклад. С. М. Логвінков, О. М. Борисенко. – Харків : ХНЕУ
ім. С. Кузнеця, 2018. – 122 с.

Подано основні теоретичні відомості, опис індивідуальних завдань для студентів, методичні рекомендації до їх виконання, матеріал щодо закріплення знань, основні типові розрахункові завдання та приклади їх розв'язання за темами навчальної дисципліни.

Рекомендовано для студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського) рівня.

УДК 62(07.034)

© Харківський національний економічний
університет імені Семена Кузнеця, 2018

Вступ

Загальноосвітня дисципліна "Сучасні технологічні системи" розроблена для підготовки фахівців економічного профілю. Вивчення навчальної дисципліни формує у студентів технологічне мислення, що дозволяє економістам правильно аналізувати будь-який тип технологічних процесів. Діалектика розвитку промисловості третього тисячоліття визначає нерозривний взаємозв'язок та широке застосування всіх досягнень науки, техніки, технологій. Тому вибір раціональних методів вдосконалення будь-якого виробництва має базуватися на техніко-економічній доцільності, що враховує ефективність як технічного, так і економічного розвитку.

Даний практикум ставить за мету допомогти студентам узагальнити й засвоїти великий матеріал за технологічними процесами отримання різноманітних продуктів, раціональних способів використання сировини, матеріалів, енергії, а також утилізації побічних продуктів і відходів виробництва.

У практикум внесено завдання відповідно до тем першого змістового модуля "Основи сучасних технологічних систем", а саме: про симетрію, як основу всіх фізичних законів; про принципові положення раціонального використання енергії; про методи складання матеріальних й енергетичних балансів виробничих процесів; про способи розрахунку виходу вторинних енергетичних ресурсів; про визначення параметрів різних технологічних процесів та зіставлення розмірностей; про методи оцінки якості продукції та заходів з її сертифікації, стандартизації, метрологічного забезпечення.

Для успішного виконання завдань рекомендується попередньо вивчити лекції з відповідної теми курсу, ознайомитися з рекомендованою літературою, а також проаналізувати теоретичну частину до занять та приклади виконання завдань. Після виконання завдання студенту доцільно перевірити свою готовність до захисту отриманих результатів і рекомендується відповісти на запитання для самодіагностики.

Тема 1. Основні поняття та визначення в технології

Завдання 1. Уніфікація термінів, символів і одиниць фізичних величин

1.1. Теоретична частина

Фізична величина являє собою властивість, яка є загальною в якісному відношенні для багатьох речовин, але індивідуальною в кількісному відношенні для конкретної речовини. Зокрема, щільність є фізичною величиною: та чи інша щільність властива різним речовинам, але розмір цієї величини для конкретних речовин різний (наприклад, щільність золота при 20 °C має значення 19,3 г / см³, а вода – близько 1 г / см³).

Розмір фізичної величини визначає кількісний вміст у речовині конкретної властивості, відповідно до поняття фізичної величини. З цим поняттям взаємопов'язане поняття вимір – встановлення дослідницьким шляхом скільки разів у фізичній величині міститься деякої елементарної порції, так званої одиниці вимірювання величини. Вибір такої одиниці довільний, але закріплюється відповідними міжнародними угодами та стандартами країн для єдності сприйняття. Наприклад, з історії відомо безліч одиниць маси речовини – пуд, тона, карат, грам і т. п. Тобто, в однієї і тієї ж фізичної величини може існувати кілька одиниць, що відрізняються за розміром. Визначеність й уніфікованість одиниць фізичних величин є основою для кількісного зіставлення всіх аналогічних фізичних величин, що вимагає вибору в будь-якій системі одиниць однієї основної одиниці для даної фізичної величини. У 1960 році на XI Генеральній конференції з мір та вагів була прийнята, а в подальшому неодноразово уточнювалася, Міжнародна система одиниць (скорочена назва Si за першими літерами Sistem International, у російській транскрипції CI). Розмір конкретної властивості незмінна при використанні різних одиниць, їх завжди можна привести до основних і привести до зручного розміру за рахунок застосування десяткових або кратних одиниць від основних одиниць (табл. 1.1).

Приставки та множники

Найменування	Приставка		Множник
	Позначення		
	Українське	Міжнародне	
йота	Й	Y	10^{24}
зета	З	Z	10^{21}
екса	Е	E	10^{18}
пета	П	P	10^{15}
тера	Т	T	10^{12}
гіга	Г	G	10^9
мега	М	M	10^6
кіло	к	K	10^3
(гекто)	г	H	10^2
(дека)	да	da	10^1
(деци)	д	d	10^{-1}
(санти)	с	c	10^{-2}
мілі	м	m	10^{-3}
мікро	мк	μ	10^{-6}
нано	н	n	10^{-9}
піко	п	p	10^{-12}
фемто	ф	f	10^{-15}
ато	а	a	10^{-18}
зепто	з	z	10^{-21}
йокто	й	y	10^{-24}

Під значенням фізичної величини мають на увазі оцінку її розміру у вигляді деякого числа, прийнятого для вимірювання одиниць. Наприклад, 273 К – числове значення температури, 25 г – числове значення маси речовини тощо. Звернемо увагу, що замість термінів "розмір", "значення" неправильно вживати термін "величина". Зокрема, неправильно писати "величина тиску", "величина кількості речовини", оскільки ці властивості (тиск, кількість речовини) самі є величинами. Також не рекомендується підмінювати найменування фізичної величини найменуванням її одиниць. Наприклад, не слід замість "маса речовини" говорити про "кількість кілограмів речовини", замість "об'єм речовини" – "про кількість літрів речовини".

Сукупність одиниць фізичних величин називають системою одиниць, у якій приймаються умовно незалежні одна від одної основні одиниці. У системі СІ прийнято сім основних одиниць (табл. 1.2). Інші фізичні одиниці, що входять у систему СІ та можуть бути виражені через основні, називаються похідними величинами. Взаємозв'язок передається формулою розмірності фізичної величини. Позначають розмірності відповідними прописними буквами (табл. 1.2) та в формулі прийнятий певний порядок їх запису: L, M, T, I, θ , N, J. Скорочені розмірності позначають dim (від англ. Dimension – розмір) і в загальному вигляді для будь-якої фізичної величини X розмірність може бути виражена рівністю:

$$\dim X = L^a M^b T^c I^d \theta^f N^g J^h, \quad (1.1)$$

де a, b, c, d, f, g, h – цілі числа, показники ступеня.

Таблиця 1.2

Основні одиниці СІ

№ п/п	Фізична величина	Назва одиниць	Символ	Позначення		Розмірність
				СІ	SI	
1	Час	секунда	t, t	с	s	T
2	Довжина	метр	l	м	m	L
3	Кількість речовини	моль	n	моль	mol	N
4	Маса	кілограм	m	кг	kg	M
5	Сила світла	кандела	j	кд	cd	J
6	Термодинамічна температура	кельвін	T	К	K	θ
7	Сила електричного струму	ампер	I	A	A	I

Фізичні величини можуть бути безрозмірними, якщо всі вхідні фізичні величини у формулі її розмірності (1.1) мають ступінь, що дорівнює нулю. Всі основні та похідні фізичні величини мають власне найменування та позначення (табл. 1.3).

З табл. 1.3 видно, що ряд фізичних величин позначають одними і тими ж символами. Для уникнення помилок слід виключити спільне застосування таких символів або використовувати підрядкові символи. Для позначення одиниць, що походять від прізвищ відомих вчених, застосовують прописні букви: В – вольт, А – ампер, Па – паскаль, Дж – джоуль тощо.

Позначення деяких фізичних величин та їх одиниць

№ п/п	Фізична величина	Позначення	Одиниці		
			Найменування	Позначення	
				Українське	Міжнародне
1	2	3	4	5	6
1	Час		Секунда	с	s
2	В'язкість: динамічна кінетична		Паскаль – секунда Квадратний метр на секунду	Па · с м ² / с	Pa · s m ² / s
3	Тиск	P	Паскаль	Па	Pa
4	Довжина		Метр	м	m
5	Ємність електрична	C	Фарад, сантиметр (1 см = = 1,11265 · 10 ⁻¹² Ф)	Ф, см	F, cm
6	Ємність хімічного джерела	c	Ампер – година (1 А = 3,6 · 10 ¹³ Кл)	А · г	A · h
7	Заряд електричний		Кулон	Кл	C
8	Кількість речовини		Моль	моль	mol
9	Кількість руху	P	Кілограм – метр в секунду	кг · м / с	kg · m / s
10	Кількість тепла		Джоуль	Дж	J
11	Кількість електрики		Кулон	Кл	C
12	Маса		Кілограм	кг	kg
13	Момент кількості руху		Кілограм – метр в квадраті на секунду	кг · м ² / с	kg · m ² / s
14	Напруга електрична		Вольт	В	V
15	Напруженість електричного поля	E	Вольт на метр	В / м	V / m
16	Натяг поверхневий		Ньютон на метр	Н / м	N / m
17	Об'єм		Кубічний метр, літр (1 л = 10 ⁻³ м ³)	м ³ , л	m ³ , L

Закінчення табл. 1.3

1	2	3	4	5	6
18	Щільність		Грам на кубічний сантиметр	г / см ³	g / cm ³
19	Площа		Квадратний метр	м ²	m ²
20	Потенціал електричний		Вольт	В	V
21	Провідність електрична питома		Сименс на метр	См / м	S / m
22	Робота		Джоуль	Дж	j
23	Сила		Ньютон	Н	N
24	Сила струму		Ампер	А	A
25	Швидкість		Метр за секунду	м / с	m / s
26	Опір електричний		Ом	Ом	Ω
27	Температура	Т	Кельвін, градус Цельсія	К, °С	K, °C
28	Теплоємність	с	Джоуль на кельвін	Дж / К	J / K
29	Теплопровідність		Ват на метр – кельвін	Вт / (м · К)	W / (m · K)
30	Частота		Герц	Гц	Hz
31	Енергія	Е	Джоуль	Дж	J
32	Ентальпія	Н	Джоуль на моль	Дж / моль	J / mol
33	Ентропія		Джоуль на моль – кельвін	Дж / (моль · К)	J / (mol · K)

Для позначення одиниць, що не походять від назв – застосовують малі літери: м – метр, с – секунда, г – грам і т. п. У позначенні одиниць крапку, як знак скорочення, не ставлять: 25 м, 45 с, 753 К і т. д. Між значенням фізичної величини та їх одиницями роблять пробіл, але не допускають роздільного перенесення на інший рядок: 150 г / л, 75 Па, 350 Дж і т. п.

Добуток двох одиниць вказують знаком множення, для якого в СІ передбачено лише два символи – крапка або хрестик у середині рядка (Дж · с, Н · м і т. п.).

Для знака ділення може використовуватися будь-який із символів: м / с, м : с, м⁻¹, $\frac{M}{C}$, але в одному виразі не допускається застосування

більше одного знака похилої риси. Зокрема, не можна застосовувати запис Дж / К / моль, а слід – Дж / (моль · К) або Дж · моль⁻¹ · К⁻¹. Символ градуса "Кельвін" поставлений після символу "моль" для уникнення помилки сприйняття: "кіломоль". Використовувати більше одного префікса до одиниць фізичних величин не можна. Наприклад, для позначення часу "10⁻⁹ с" слід застосовувати префікс "нано" (1 нс), але не два поспіль префікси – "мілі" та "мікро" (10⁻³ та 10⁻⁶, відповідно): виникає можливість неправильного прочитання одиниці ммкс – "міліметр на кілосекунду". Для утворення часткових одиниць маси приставки приєднують до слова "грам", оскільки в основній одиниці маси (кг) вже міститься приставка "кіло".

Вибір десяткової або кратної від основної одиниці системи здійснює конкретний виконавець запису відповідно до зручності його застосування. У ряду числових значень якої-небудь однієї одиниці допускається її позначення після останньої цифри: 72, 84, 96 та 102 мм. Для вказівки значень фізичних величин з інтервалом позначення одиниці наводять після дужок: (74,2 ± 0,2) °С, (165,1 ± 2,0) Па, але не 74,2 ± 0,2 °С та 165,1 ± 2,0 Па.

Деякі одиниці фізичних величин на даний час є застарілими, але широко застосовуються через сформовані традиції в міжнародній торгівлі, окремих галузях промисловості, а також через специфіку вимірювань у певних областях науки та техніки. Нижче наведені деякі з позасистемних одиниць й співвідношення для їх перекладу в одиниці СІ.

Довжина

Ангстрем (А⁰) 1 А⁰ = 10⁻¹⁰ м.

1 фут = 12 дюймів = 304,8 мм.

Маса

1 пуд = 40 фунтів = 16,380 5 кг.

1 золотник = 4,265 7 г.

1 карат = 0,2 г.

Атомна одиниця маси (а. о. м.): 1 а. о. м. = 1,660 57 · 10⁻²⁷ кг.

Енергія (робота, кількість теплоти)

Електрон – вольт: 1 э / В = 96,495 кДж.

Ерг: 1 ерг = 10⁻⁷ Дж.

Калорія: 1 кал = 4,184 Дж.

Температура

$$t = (T - 273,15) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

де T – термодинамічна температура (K).

$$t \text{ } ^\circ\text{R} = 0,8t \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.3)$$

де $^\circ\text{R}$ – градус шкали Реомюра.

$$t \text{ } ^\circ\text{F} = 1,8t \text{ } ^\circ\text{C} + 32 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.4)$$

де $^\circ\text{F}$ – градус шкали Фаренгейта.

Тиск

$$\text{Dim} = L^{-1}MT^2.$$

$$1 \text{ атм} = 101\,325 \text{ Па}.$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}.$$

$$1 \text{ торр} = 1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}.$$

R – універсальна газова стала:

$$R = 0,082\,057 \text{ л} \cdot \text{атм} \cdot \text{К}^{-1} = 8\,314,425\,5 \text{ л} \cdot \text{Па} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Об'єм

$$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3.$$

1 мл – це спеціальна назва кубічного сантиметра (см^3).

1 л = 1 дм^3 , а для більш точних розрахунків слід використовувати:

$$1 \text{ л} = 1,000\,028 \text{ дм}^3.$$

Сила (механічна)

$$\text{Dim} = LMT^{-2}.$$

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2.$$

$$1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н}.$$

В'язкість

Динамічна – пуаз (П): $1 \text{ П} = 1 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-2}$.

$$1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 10 \text{ П}.$$

Розмірність: $\text{dim } \eta = L^{-1}MT^{-1}$.

Кінематична – стокс (C_T): $1 C_T = 1 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Розмірність: $\text{dim } \nu = L^2T^{-1}$.

Для води за нормальних умов: $\eta = 1,009 \text{ сП} = 1,009 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Електрична напруга

Вольт (В): $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{Кл}$.

$$\dim U = L^2 M T^{-3} I^{-1}.$$

Електрична напруга (провідність)

Ом (R): $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}^{-1}$. $\dim R = L^2 M T^{-3} I^{-2}$.

Сименс (См): $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1} = 1 \text{ А} \cdot \text{В}^{-1}$. $\dim R = L^{-2} M^{-1} T^3 I^2$.

Електрична ємність

Фарада (Ф): $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл} \cdot \text{В}$.

$$\dim R = L^{-2} M^{-1} T^4 I^2.$$

Радіоактивність речовини

Беккерель (Бк): $1 \text{ Бк} =$ одному розпаду на секунду (відповідає числу розпаду 1 г радію $^{226}_{88}\text{Ra}$, період напіврозпаду 1 590 років).

$$\dim R = T^{-1}.$$

Кюрі (Кі): $1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Доза випромінювання

Грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{кг}$.

$$\dim = L^2 M^2 T^{-2}.$$

Рад: $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$.

Експозиційна доза випромінювання

Рентген (Р): $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл} / \text{кг}$, що відповідає $2,58 \cdot 10^9$ пар іонів в 1 см^3 повітря при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ та 1 атм (101 325 Па).

$$\dim = M^{-1}.$$

Експозиційна доза в $1 \text{ Кл} / \text{кг}$ відповідає сумарному заряду іонів одного знака, що виникли під дією випромінювання в одному кілограмі повітря, рівному 1 Кл .

Еквівалентна доза випромінювання

Зиверт (Зв): $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$.

$$\dim = L^2 T^{-2}.$$

Бер (бер): $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв} = 0,01 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

1.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Вибір варіанта завдання здійснюється відповідно до номера в табл. 1.4, що збігається за обліковим номером студента в групі.

Завдання полягають у перерахунку значень фізичних величин із заданих одиниць в основні одиниці СІ, тобто в знаходженні розмірності.

Варіанти для індивідуального виконання завдань представлені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Варіанти завдань

№ п/п	Сенс фізичної величини	Значення фізичної величини	Одиниці
1	Швидкість	120	км / год
2	Прискорення	0,72	мм / год
3	Об'ємна витрата речовини	150	дм ³ / хв
4	Довжина	1,5	дюйм
5	Тиск	0,5	Па
6	Маса	12	карат
7	Маса	0,7	кт
8	Маса	35	фунт
9	Маса	6,5	пуд
10	Поверхневий електричний потенціал	5	В / см ²
11	Щільність	1 500	г / см ³
12	Електричний потенціал	1,5	кВ
13	Тиск	7 000	н / см ³
14	Кількість теплоти	2	Гкал
15	Енергія	3	е / В
16	Робота	1 500	Н · м
17	Швидкість нагріву	10	°С / хв
18	Швидкість охолодження	700	°R / хв
19	Тиск	7 600	мм рт. ст.
20	Тиск	5 000	торр
21	Механічна сила	10 000	дин
22	Динамічна в'язкість	0,01	П
23	Кінематична в'язкість	120	см ² / год
24	Електрична ємність	100	мкФ
25	Електричний опір	15	кОм
26	Електричний опір	1,5	мСм

1.3. Приклад виконання завдання

Студент, що записаний в журналі групи під номером № 26, виконує відповідний номер варіанта в табл. 1.4.

Потрібно перевести в одиниці СІ значення фізичної величини (електричний опір 1,5 мСм).

У завданні використана позасистемна одиниця – Сименс (См) з префіксом. Префікс мілі (м), а не "метр", оскільки відсутні знаки множення або ділення. Приставка "м" відповідає множнику 10^{-3} (табл. 1.1), а $1 \text{ См} = 1 \text{ А} \cdot \text{В}^{-1} = \text{Ом}^{-1}$.

Виконаємо заміну 1,5 мСм на $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{В}^{-1}$. У заміненіх одиницях А (Ампер) є основною одиницею СІ, а В (Вольт) – похідною, яку допускається застосовувати, але за завданням слід перевести в основні одиниці. Врахуємо, що 1 В – це робота, що здійснюється полем кулонівських сил при переміщенні одиночного позитивного заряду на одиницю довжини електричного ланцюга:

$$\dim R = L^2 M T^{-3} I^{-1}, \quad (1.5)$$

оскільки розмірність $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$.

Підставляємо розмірність 1 В в одиниці заданого значення ($1,5 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{В}^{-1}$):

$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ А} / (\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}) = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2.$$

Робимо висновок: розмірність фізичної величини:

$$\dim = \text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2, \quad (1.6)$$

а її значення в зручних та допустимих до застосування (табл. 1.1, 1.3) одиницях:

$$1,5 \text{ мА} / \text{В} \text{ або } 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}. \quad (1.7)$$

1.4. Запитання для самодіагностики

1. У чому полягає суть поняття вимірювання?
2. Сформулюйте визначення поняття фізична величина.

3. Сформулюйте визначення поняття розмір фізичної величини.
4. Чи змінюється розмір однієї і тієї ж фізичної величини при його вимірі в різних одиницях?
5. На які ознаки слід звертати увагу, щоб уникнути неоднозначного сприйняття префіксів й одиниць СІ: М (мега), м (мілі) та м (метр); к (кіло) та К (Кельвін); Г (гіга) та г (грам); с (санти) та с (секунда)?
6. Скільки основних одиниць СІ?
7. Чи допускається застосовувати додаткові одиниці СІ при вимірюванні плоского й тілесного кутів (радіан і стерадіан, відповідно)?
8. Які одиниці є безрозмірними?
9. У якому порядку записують одиниці в розмірності фізичної величини?
10. Чи потрібно відокремлювати пропуском значення фізичної величини від розмірності та чи слід ставити крапку як знак скорочення після одиниць, що допускаються до вживання СІ?

Тема 2. Властивості технологічних систем

Завдання 2. Основи симетрії кристалів

2.1. Теоретична частина роботи

Слово кристал у Стародавній Греції означало лід і схожий на нього природний мінерал – гірський кришталь (досить чистий і прозорий кварц) також стали називати кристалом. Надалі назва поширилася на багато інших мінералів, у будові яких виділялась наявність геометричних форм багатогранників. Сучасне поняття кристал базується на можливості виділення в будові речовини елементарної комірки, що має певну форму багатогранника зі закономірним розташуванням у ньому структурних елементів (атомів, іонів). Трансляція елементарної комірки в трьох, у загальному випадку не взаємоперпендикулярних напрямках, повинна повністю заповнювати простір кристала. У такому випадку окремі геометричні форми (межі, ребра і кути) в якості елементів кристала закономірно повторюються. Така властивість визначає суть поняття симетрія (від грец. – відповідність). Елементами симетрії кристалічних багатогранників є площини, осі симетрії та центр симетрії (центр інверсії).

Площина симетрії ділить фігуру багатогранника на дві дзеркально рівні частини, які відносяться одна до одної, як предмет і його дзеркальне відображення. Площину симетрії позначають буквою P , максимально можлива їх кількість 9, оскільки у багатограннику вони можуть проходити посередині грані або вздовж ребер (рис. 2.1).

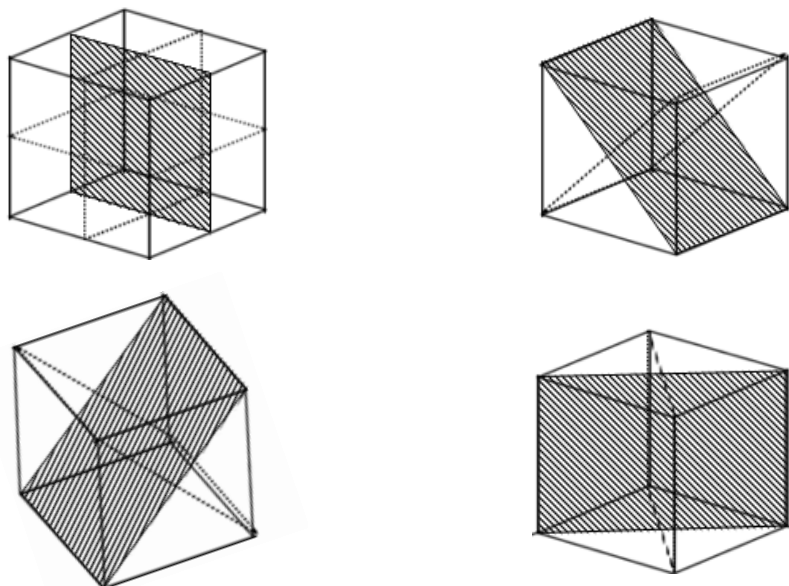


Рис. 2.1. Площини симетрії куба (9P)

Віссю симетрії вважають уявну лінію, при повороті навколо якої на деякий кут забезпечується повторення однакових частин багатогранника. Порядок осі симетрії визначає скільки разів за повний поворот (360°) багатогранник співпадає зі своїм вихідним положенням.

Позначення осі симетрії L , а її порядок вказують цифрою, вміщеній внизу праворуч. Якщо L_2 , то вісь симетрії другого порядку і багатогранник при повороті навколо цієї осі на 360° два рази суміститься зі своїм вихідним положенням. У кристалографії осі симетрії можуть бути 2, 3, 4 та 6 порядку, тобто поєднання багатогранника забезпечується при повороті на 180 , 120 , 90 і 60° . Осі першого порядку не враховують, оскільки будь-який багатогранник володіє нескінченним числом таких осей. Осей симетрії 5 та більше 6 порядку в кристалах немає, бо дробові значення кутів повороту не забезпечують повне заповнення простору при трансляції елементарної комірки з таким типом багатогранника.

У кубі, як одному з найбільш симетричних багатогранників, можуть бути три осі четвертого порядку $3L_4$ (через середини протилежних

граней), чотири осі третього порядку $4L_3$ (через протилежні вершини тригранних кутів) та шість осей другого порядку $6L_2$ (через середини протилежних ребер) (рис. 2.2).

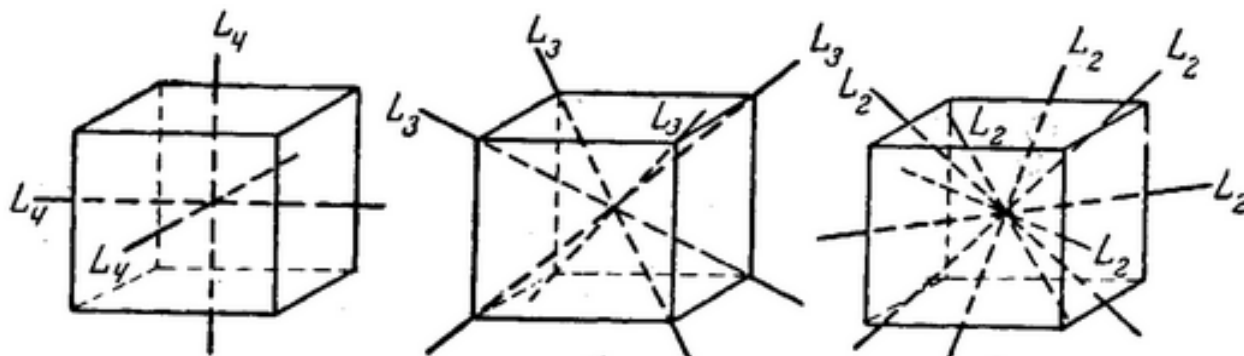


Рис. 2.2. Вісі симетрії куба

Крім поворотних осей симетрії в утворенні структури кристалів можуть приймати інверсійно-поворотні осі, що поєднують дві операції симетрії: обертання навколо осі та одночасно відображення в перпендикулярній до неї площині. Таких вісей може бути дві: L_{i4} і L_{i6} з кутами повороту 90 на 180° та 60 на 180° , відповідно. Для їх позначення до цифри, яка вказує на порядок, додається зліва буква "i".

Центр симетрії одночасно є центром інверсії (за наявності інверсійно-поворотних осей). Це є уявна точка всередині багатогранника, так само віддалена від усіх кутів, граней і ребер, у якій перетинаються і діляться навпіл усі лінії, що з'єднують відповідні точки поверхонь кристала. Центр симетрії може бути відсутнім, а якщо є, то тільки один і позначається буквою С. За наявності центру симетрії, кожній грані багатогранника відповідає інша грань, рівна та паралельна (обертова) першій.

Повна сукупність елементів симетрії кристалічного багатогранника називається видом його симетрії. Усі кристали описуються 32 видами симетрії, які називають також класами (табл. 2.1), і кожен з них характеризується своєю формулою симетрії. Формула симетрії – умовний запис всіх елементів симетрії багатогранника, де на першому місці вказані осі симетрії (від вищих порядків до нижчих), на другому – площини симетрії, потім центр.

32 класи симетрії кристалів за сингоніями та категоріями

Категорія	Сингонія	Вид симетрії						
		Примітивний	Центральний	Планальний	Аксіальний	Планаксіальний	Інверсійно-примітивний	Інверсійно-планальний
Нижча	Триклинна	1 –	2 C					
	Моноклінна			3 P	4 L ₂	5 L ₂ PC		
	Ромбічна			6 L ₂ 2P	7 3L ₂	8 3L ₂ 3PC		
Середня	Тригональна	9 L ₃	10 L ₃ C	11 L ₃ 3P	12 L ₃ 3L ₂	13 L ₃ 3L ₂ 3PC		
	Тетрагональна	14 L ₄	15 L ₄ PC	16 L ₄ 4P	17 L ₄ 4L ₂	18 L ₄ 4L ₂ 5PC	19 L _{i4} (= L ₂)	20 L _{i4} 2L ₂ 2P (= 3L ₂ 2P)
	Гексагональна	21 L ₆	22 L ₆ PC	23 L ₆ 6P	24 L ₆ 6L ₂	25 L ₆ 6L ₂ 7PC	26 L _{i6} (= L ₃ P)	27 L _{i6} 3L ₂ 3P (= L ₃ 3L ₂ 4P)
Вища	Кубічна	28 3L ₄ 4L ₃	29 3L ₄ 4L ₃ 3PC	30 3L ₄ 4L ₃ 6P	31 3L ₄ 4L ₃ 6L ₂	32 3L ₄ 4L ₃ 6L ₂ 9PC		

Як видно з табл. 2.1 куб має багато елементів симетрії та є високо-симетричним багатогранником, що відносить його до вищої категорії й планаксіальному виду симетрії. У формулах низькосиметричних багатогранників може бути по одному елементу симетрії і в самому примітивному випадку – не містити їх, маючи лише окремі грані у своїй будові. Види симетрії мають назви, що характеризують наявність у багатогранників:

- центру симетрії – центральний;
- площини симетрії – планальний (від грецького "планум" – площина);
- осі симетрії – аксіальний (від грецького "аксон" – вісь);
- максимальна кількість площин та осей симетрії – планаксіальний;
- інверсійні осі – інверсійно-примітивний або інверсійно-планальний.

Кристали середньої категорії симетрії мають дуже мало елементів симетрії й не містять осей симетрії з порядком вище другого. У них дуже виражена анізотропія властивостей (відмінність однієї і тієї ж властивості в залежності від напрямку).


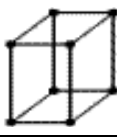
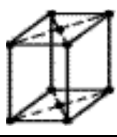


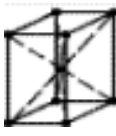
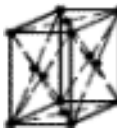

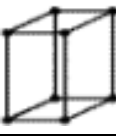
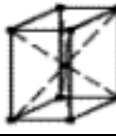

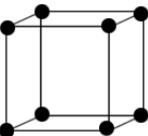
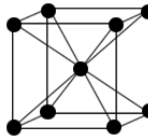
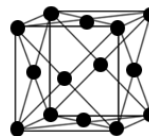
Кристали середньої категорії мають головну вісь – особливий напрямок, що збігається з єдиною віссю симетрії порядком вище другого (тобто 3, 4 або 6, в тому числі інверсійні). У кристалах середньої категорії найбільш помітна анізотропність властивостей уздовж або поперек головної осі симетрії.

Для кристалів вищої категорії симетрії характерна наявність декількох осей вищого порядку, зокрема, обов'язкову присутність чотирьох осей 3 порядку. Це найбільш симетричні кристали, в яких багато властивостей ізотропні (не залежить від напрямку).

Виділені в табл. 2.1 три категорії кристалів підрозділяються на 7 сингоній (від грец. *sinonia* – згіднокутовість) – груп, що володіють одним або декількома однаковими елементами симетрії та мають однакове розташування кристалографічних осей.

Сингонії нижчої категорії (триклинна, моноклінна та ромбічна) об'єднують кристали, в яких відсутні вісі симетрії вище 2 порядку, в середніх категоріях (тригональна, тетрагональна та гексагональна) – є тільки одна вісь з порядком вище другого, а у вищій (кубічна) – є більше однієї вісі симетрії з порядком вище другого. У більш історично ранній класифікації кристалів – 14 просторових решіток Огюста Браве (табл. 2.2), де наочніше представляється взаємозв'язок кутів багатогранників, що визначають приналежність до певної сингонії, а також позиції атомів (іонів) у певних місцях елементарної комірки.

14 просторових решіток Браве

Категорія	Сингонія, осьові одиниці	Примітивна	Базо- центрована	Об'ємно- центрована	Гране- центрована
Нижча	Триклінна: $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	P 	—	—	—
	Моноклінна: $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	P 	C 	—	—
	Ромбічна: $a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P 	C 	I 	F 
Середня	Тригональна (ромбоедрична): $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	P 	—	—	—
	Тетрагональна: $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P 	—	I 	—
	Гексагональна: $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$	P 	—	—	—
Вища	Кубічна: $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P 	—	I 	F 

Останні дослідження визначають пристосовність до теперішнього часу класифікацій відповідно до табл. 2.1 та 2.2. Основний внесок у встановлення нових, більш складних елементів симетрії та удосконалення табл. 2.1 вніс П'єр Кюрі. Набір з 9 елементів симетрії обумовлює 32 класи, які об'єднують 47 геометричних фігур у якості "елементарних" осередків будь-якого кристала. Однак табл. 2.1 також не визначає всього

можливого різноманіття реальних кристалів, оскільки в їх будові елементарні осередки транслюються, тобто переміщуються в просторі певним чином. Як форма руху трансляція може обумовлювати нові елементи симетрії – гвинтові осі й площини ковзаючого відображення. Кількість гвинтових осей може дорівнювати 11, в тому числі, враховуючи відмінність лівого та правого. Відповідно, загальний набір елементів симетрії – 21 (величина трансляції, центр симетрії, 2 види площин: простого і ковзаючого відображення, 17 осей симетрії). Євграф Степанович Федоров і Артур Шенфліс визначили для всіх вищеназваних 21 елемента симетрії 230 просторових груп, якими диктуються положення частинок у будові всіх кристалів.

2.2. Індивідуальні завдання

Визначити види та кількість простих елементів симетрії елементарної комірки кристалів певного типу. Показати їх на рисунку. Записати формулу симетрії кристала. Вважати, що елементарна комірка кристала представлена багатогранником:

1. Призма пряма тригранна (основа – трикутник).
2. Призма пряма тригранна (основа – рівносторонній трикутник).
3. Призма пряма тригранна (основа – неправильний трикутник).
4. Призма пряма чотиригранна (основа – квадрат).
5. Призма пряма чотиригранна (основа – прямокутник).
6. Призма пряма чотиригранна (основа – неправильний чотирикутник).
7. Призма пряма п'ятигранна (основа – правильний п'ятикутник).
8. Призма пряма шестигранна (основа – правильний шестикутник).
9. Призма пряма семигранна (основа – неправильний семикутник).
10. Призма пряма восьмигранна (основа – правильний восьмикутник).
11. Призма похила тригранна (основа – рівносторонній трикутник).
12. Піраміда (тетраедр) з гранями у формі правильного трикутника.
13. Куб, у якого обрізаний один тригранний кут (зріз – правильний трикутник).
14. Куб, у якого зрізані два протилежних тригранних кута (зрізи – правильні та рівні один одному трикутники).
15. Куб, у якого зрізані два поряд розташованих тригранних кута (зрізи – правильні та рівні один одному трикутники).
16. Піраміда правильна (підстава квадрат).

17. Піраміда (основа – прямокутник).
18. Піраміда (основа – правильний п'ятикутник).
19. Піраміда (основа – правильний шестикутник).
20. Піраміда (основа – неправильний шестикутник).
21. Піраміда (основа – правильний восьмикутник).
22. Піраміда усічена правильна (основа – квадрат).
23. Піраміда усічена правильна (основа – прямокутник).
24. Піраміда усічена правильна (основа – правильний п'ятикутник).
25. Піраміда усічена правильна (основа – правильний восьмикутник).
26. Призма гексагональна.

2.3. Приклад виконання завдання

Студент у журналі групи записаний під номером 26 – йому потрібно виконати індивідуальне завдання з відповідним номером.

Врахуємо, що багатогранник – призма, отже, має дві паралельні основи, перпендикулярно яким розташовані бічні грані. Кількість бічних граней визначено геометричною формою основ. Слово "гексагональна" означає, що основу призми представлено правильним шестикутником, оскільки згідно з СІ допускається в позначеннях застосовувати префікси, утворені з коренів грецьких і деяких латинських числівників:

1/2 – геми;

1 – моно;

1,5 – сескві;

2 – ди;

3 – три;

4 – тетра;

5 – пента;

6 – гекса;

7 – гепта;

8 – окта;

9 – нона;

10 – дека;

11 – ундека;

12 – додека;

20 – ейкоси;

30 – триаконта.

Зобразимо олівцем на чернетці гексагональну призму, трохи розгорнувши її для наочного відображення можливих площин симетрії.

Відзначимо, що через основи гексагональної призми можуть бути проведені шість площин, що поділяють багатогранник (уздовж) на дзеркально рівні частини (через протилежні кути шестикутника та центри відповідних сторін). Крім того, поперек призми також може бути проведена площина симетрії, що ділить багатогранник на дві дзеркально рівні частини. Таким чином, для гексагональної призми існує 7 площин симетрії.

Через центральний (поперечний) перетин призми можна провести шість осей симетрії, які забезпечують поєднання всіх елементів гексагональної призми через 180° (тобто порядок осей: $360^\circ / 180^\circ = 2$). Крім того, лінію перетину площин симетрії, що проходять через підстави, слід зарахувати до осі симетрії 6 порядку (поворот на 60° забезпечує поєднання всіх елементів призми ($360^\circ / 60^\circ = 6$)).

Перетин раніше виявлених елементів симетрії досягається в точці С (рис. 2.3), що вказує на її приналежність до центру симетрії. Дійсно, всі елементи будови призми рівновіддалені від цієї точки.

Записуємо формулу симетрії L_6L_27PC .

Усі елементи симетрії показано на рис. 2.3.

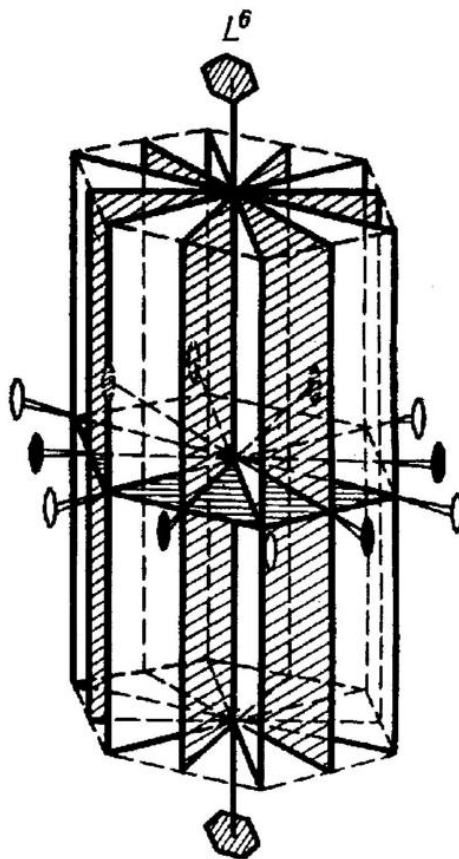


Рис. 2.3. Елементи симетрії гексагональної призми

2.4. Запитання для самодіагностики

1. Що мається на увазі під поняттям "елементарна комірka"?
2. Визначте сутність поняття "кристалічна симетрія"?
3. Дайте визначення поняття "площина симетрії".
4. Дайте визначення поняття "вісь симетрії".
5. Дайте визначення поняття "центр симетрії".
6. Як визначається порядок осей симетрії?
7. Що має на увазі термін "трансляція"?
8. Чому не існує у кристалів осей симетрії з порядком 5 та більше ніж 6 порядок?
9. Які операції симетрії поєднуються за наявності інверсійно-поворотних осей у кристалів?
10. Який порядок написання символів у формулі симетрії кристалів?
11. Через які характерні місця багатогранника можуть проходити осі симетрії?
12. Через які характерні місця багатогранника можуть проходити площини симетрії?
13. Поясніть терміни та поняття: сингонія, категорія, вид симетрії?
14. У чому зручність 14 просторових решіток Браве?
15. Скільки елементів симетрії та просторових груп нараховує кристалографія?

Завдання 3. Гармонія та симетрія в еволюції природних і штучних систем

3.1. Загальні положення та порядок виконання індивідуальних завдань

Практична робота передбачає публічний захист, виконаного завдання самостійно або в співпраці з одним або двома одногрупниками.

Публічний захист виконаного завдання проводиться перед студентами групи в формі усної доповіді (до 7 хвилин) із застосуванням доступних демонстраційних матеріалів супроводжуючого характеру.

Індивідуальні завдання мають оглядовий, розрахунковий та художньо-творчий характер в рамках теми практичного заняття.

Виконане завдання повинне містити не тільки матеріали, що розкривають суть питання, а й приклади, що показують актуальність даної теми для природних і техногенних об'єктів.

Студент може самостійно вибрати питання для виконання завдання, в тому числі не передбачене в числі рекомендованих.

3.2. Рекомендовані запитання

1. Паркет Пенроуза (рекомендується виготовити для демонстрації макет з двокольорового паперу; ромбики вирізати двох кольорів: з однаковими сторонами, але різним значенням гострого кута $\pi / 5$ та $2\pi / 5$); починати укладання "паркетинок" рекомендується від центру, виклавши та приклеївши до основи перші 5 ромбів з більш гострим кутом).

2. Паркет Пенроуза (рекомендується ромбики вирізати трьох кольорів: з однаковими сторонами, але різним значенням гострого кута ($\pi / 7$, $2\pi / 7$ та $3\pi / 7$); інші рекомендації аналогічні п. 1).

3. Гармонія та симетрія. Золотий перетин.

4. Числа Фібоначчі. Парастіхі в ботаніці.

5. Золотий вурф. Анатомія та робототехніка.

6. Латеральна симетрія живих організмів.

7. Симетрія матеріальних фігур. Ієрархія точкових груп.

8. Просторові групи симетрії. Бордюри та стрічки.

9. Стрічка Мебіуса. Встановити закономірності стрічки при розрізанні уздовж осьової лінії, якщо стрічка склеєна в кільце: з одним, з двома, з трьома, ..., n-числом поворотів (завдання для 2 – 3 учасників).

10. Вирішити задачу про ступінь заповнення простору рівновеликими жорсткими сферами для кубічного їх упакування.

11. Вирішити задачу про ступінь заповнення простору рівновеликими жорсткими сферами для гексагональної упаковки.

12. Вирішити задачу про радіус сфер, які можуть розміщуватися в пустотах між рівновеликими жорсткими сферами при їх дуже ретельному кубічному пакуванні (рекомендується виконувати спільно з 10).

13. Вирішити задачу про радіус сфер, які можуть розміщуватися в пустотах між рівновеликими жорсткими сферами при їх ретельній гексагональній упаковці (рекомендується виконувати спільно з 11).

14. Симетрія матеріальних фігур на прикладах стрижнів: труби, гвинта, ланцюга, плетеного канату, шнуру, стебла рослини, світлової та звукової хвилі, шківа на валу, нитки бус і т. п.

15. Транстропна симетрія матеріальних фігур й шестигранні структури в природі та техніці.

16. Сітчасті орнаменти та гіпотеза космічних струн.

17. Фрактальне павутиння та решітка КагOME.

18. Мультигрід – решітка Аммана.

19. Квазікристали. Рідкі кристали й аперіодичні структури.

20. Симетрія шарів і мембран.

21. Кольорова симетрія матеріальних фігур. Антисиметрія.

22. Симетрія та тензорний аналіз.

23. Загальний закон симетрії П'єра Кюрі.

24. Дисиметрії в природі та техніці.

25. П'єзоефект, піроефект та ефект Холла.

26. Мультиплетна симетрія в мікросвіті.

27. СРТ інваріантність елементарних частинок.

28. Кварки та будова матерії.

29. Енантіоморфізм в тваринному світі.

30. Криволінійна симетрія та деформації матеріальних фігур.

31. Симетрія подібності та фрактали.

32. Класичний фрактал Коха.

33. Крива Леві та крива Гільберта.

34. Ламана дракона (крива Хартера – Хегуея).

35. Килим Серпінського.

36. Фрактал – дерево Піфагора.

37. Фрактал – модель Мандельброта.

38. Множина Кантора.

39. Фрактал – модель Жюліа.

40. Фрактал – басейни Ньютона.

41. Фрактали на прикладі біоморфів.

42. Конформні перетворення та розвиток ідей симетрії.

43. Конформна симетрія в природі.

44. Симетрія в літературних і музичних творах.

45. Труби діаметра "Д" перевозять у кузові (квадратний, сторона "а" кратно діаметру "Д"). Потрібно проаналізувати рішення про додаткову завантаженість кузова трубами меншого діаметра, що розміщуються в порожнечах між трубами з діаметром "Д".

46. Шестигранні олівці (довжина грані "а") укладають у прямокутну коробку (ширина кратно "а"). Потрібно проаналізувати, за якої висоти коробки буде досягатися максимально щільне пакування.

47. Однакова кількість паль (квадратний перетин зі стороною "а") перевозять у прямокутному кузові. Потрібно проаналізувати раціональні схеми найбільш щільного укладання та співвідношення розмірів кузова.

Тема 3. Явища, на яких базується функціонування технологічних систем

Завдання 4. Симетрія чисел. Система переважних чисел в стандартизації

4.1. Теоретична частина роботи

У рамках самостійної роботи пропонується відновити в пам'яті деякі відомості з елементарної математики. Слід усвідомити, що мали на увазі представники школи Піфагора під поняттям "логос", що асоціювалося в них з балансом, рівновагою, спокоєм і рухом, чому деякі з цифр наділялися містичним значенням. Крім того, слід згадати основні поняття про арифметичну та геометричну прогресії, числові ряди, зокрема, ряди Фібоначчі. Необхідно ознайомитися зі золотою пропорцією та виділити взаємозв'язок з числами Фібоначчі, а також з основними фізичними та математичними константами. Також необхідно усвідомити поняття "золотий вурф", що впливає з певного способу розподілу відрізка на три частини. Бажано підібрати приклади використання "золотого вурфа" та "золотого перетину" в практичних областях діяльності: механіка, будівництво, робототехніка та інші.

Друга частина практичної роботи передбачає знайомство з основами стандартизації, теоретичною основою якої є система переважних чисел. Актуальність ознайомлення студентів зі стандартизацією впливає з прагнення будь-якого підприємства вивчати якість продукції, що означає виживання та конкурентоспроможність в умовах ринкової економіки. Під продукцією мають на увазі результат діяльності підприємства у формі: послуги, що переробляються у виріб або інші матеріали, обладнання, інтелектуальну власність або їх комбінації. Зокрема, продукцію електрокабельного підприємства можна розглядати, як переробку матеріалів і послуги, які супроводжують реалізацію електрокабеля. Продукцію сучасного верстатобудівного заводу можна розглядати, як комбінацію

виробів – верстатів, їх програмного забезпечення і послуг з реалізації, пуску, наладки та обслуговування. У стандартах ISO якість продукції визначають сукупністю її властивостей і характеристик, які надають здатність задовольняти висловлені та ймовірні потреби покупців. До висловлених потреб відносять ті, які відповідають запитам споживачів, діючим стандартам, соціальним й екологічним нормам, а також надані сервісні послуги, терміни поставок, монтажу, післяпродажного обслуговування. До ймовірних потреб відносять такі, які визначаються загальнозрозумілими потребами, безпекою для користувача, навколишнього середовища, а також неочевидними (прихованими) потребами споживача.

Ступінь задоволення потреб покупця може варіюватися в широкому діапазоні, що визначає і можливість зміни якості продукції від дуже низького до надзвичайно високого. Характеристика продукції – це її особливість, властива тільки даному продукту. Характеристики продукції можуть поділятися на:

- функційні (потужність двигуна, швидкість велосипеда, продуктивність верстата);

- фізичні (механічні, електричні, біологічні, хімічні);

- органолептичні (смак, колір, запах і т. п.);

- ергономічні (облік антропометрії, фізіології, гігієнічних потреб).

Характеристики можуть бути якісні та кількісні, власні (властиві продукції постійно) або привласнені (призначена певна ціна, наприклад).

Якість продукції базується на трьох основних видах діяльності: стандартизація, метрологія та сертифікація, які іноді називають тріадою методів якості. При цьому стандартизація є діяльністю щодо досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній галузі за рахунок встановлення положень загального й багаторазового використання щодо реальних або потенційних завдань. Метрологія охоплює діяльність, спрямовану на одноманітність і повторюваність результатів вимірювань, засобів вимірювань, одиниць величин і методик їх контролю. Сертифікація, по суті, є процедурою, в процесі якої третя сторона (акредитована лабораторія або спеціалізований центр) дає письмову гарантію, що продукція, процес або послуга відповідають заданим вимогам.

Стандартизація має на меті встановити певні положення, які забезпечують відповідність об'єкта своїм призначенням і безпеку його для життя та здоров'я людей, екосистеми, а також майна, що створює умови для раціонального використання людських і природних ресурсів, знімає

бар'єри в торгівлі та підвищує конкурентоспроможність продукції, робіт і послуг до сучасного рівня розвитку науки, техніки і технологій. При стандартизації основним нормативним документом є стандарт, який встановлює вимоги до груп однорідної продукції або конкретної продукції, а також відповідні правила на розробку, виробництво і застосування такої продукції. Стандартизація керується певними принципами і застосовує конкретні методи.

Основні принципи стандартизації:

принцип повторюваності, який визначає сукупність об'єктів, до яких застосовні процеси, що забезпечують однаковий, повторюваний результат;

принцип обов'язковості, що визначає законодавчий характер стандартів;

принцип варіантності, який забезпечує мінімізацію різновидів стандартних елементів, що складають об'єкт;

принцип системності, що забезпечує об'єднання окремих стандартів у певні групи, пов'язані між собою в єдиній системі;

принцип взаємозамінності, який враховує раціональність складальних операцій за рахунок можливості заміни однакових деталей і вузлів агрегатів без підгінних дій.

До основних методів стандартизації відносять:

метод симпліфікації, що полягає в прагненні зменшити кількість типів або різновидів виробів до числа достатнього, що задовольняє задані характеристики;

метод уніфікації дозволяє об'єднувати два або більше документів в один так, що рекомендовані цим документом вироби можна було взаємозамінювати при експлуатації;

метод систематизації передбачає розташування предметів, понять і процесів в певному порядку, зручному для використання;

метод класифікації дозволяє виділяти в розташуванні предметів, понять і процесів певні класи, підкласи, розряди в залежності від наявності в них загальних ознак;

метод типізації визначає можливість розробки типових конструкцій або технологічних процесів на основі загальних технічних характеристик;

метод специфікації забезпечує складання основних документів конструкторсько-технологічного типу у формі таблиць, де вказують назву, склад, матеріал, масу та інші найнеобхідніші відомості;

метод агрегування дозволяє раціоналізувати компоновку машин, механізмів, приладів з уніфікованих вузлів й агрегатів;

програмно-цільовий метод передбачає розробку та реалізацію комплексних цільових програм з найбільш важливих науково-технічних, економічних і соціальних проблем.

Сутність системи бажаних чисел полягає в тому, що вибір будь-яких параметрів (продуктивність, потужність, швидкість, розміри і т. п.) здійснюють з певного ряду чисел, чим забезпечується узгодженість виробів з іншими, пов'язаними з ними видами продукції. Переважні ряди чисел визначаються на початку конструкторсько-технологічної розробки або в умовах модернізації виробництва виробів. Переважні числа дозволяють упорядкувати вибір величин, а, відповідно, параметри технологічних процесів, обладнання, оснащення, інструментів, матеріалів та ін.

До рядів переважних чисел висувають певні вимоги:

- 1) повинні представляти раціональну систему градації, що відповідає потребам виробництва та експлуатації;
- 2) повинні бути нескінченними і в напрямку зростання і в напрямку зменшення;
- 3) повинні бути прості та легко запам'ятовуватися вихідному алгоритму складання ряду.

Для відображення лінійних розмірів виробів зручним у практиці вважають алгоритм складання ряду переважних чисел у вигляді десяткових рядів геометричної прогресії – ряд чисел, у якому кожне наступне число виходить шляхом множення попереднього числа на одне і те ж число, зване знаменником прогресії (Q). Стандарт ISO та ГОСТ 8032-84 встановлюють для лінійних розмірів застосування чотирьох основних рядів (R_5 , R_{10} , R_{20} , R_{40}) і два додаткових ряди (R_{80} , R_{160}). Для цих рядів знаменники встановлюються за алгоритмом $Q = \sqrt[R]{10}$, де $R = 5, 10, 20, 40, 80, 160$. Попередньо обчислені й округлені значення відповідних знаменників $Q = 1,6; 1,25; 1,12; 1,06; 1,03; 1,015$. Ці ряди забезпечують однакову відносну різницю між будь-якими складними числами та включають цілі ступеня десяти. Крім того, переважні числа одного ряду можуть бути або позитивними або негативними. Убутні ряди для відмінності від зростаючих позначають символом "стрілка", спрямованим вниз і розташованим перед позначенням ряду, наприклад $\downarrow R_{20}$.

На стадії вибору розмірів для виробів необхідно брати їх значення з основних рядів, але допускається застосовувати і похідні ряди, отримані з основних шляхом відбору парних членів ряду. Наприклад, $R_{5/2}$ означає похідний ряд, отриманий з кожного другого числа ряду R_5 .

Обмеження числа членів ряду позначають круглими дужками. Наприклад, R 80/2 (25,8 ... 165) означає, що для вибору лінійних розмірів застосований довільний ряд, кожен член якого отримано з кожного восьмого члена основного ряду R 80 і ряд обмежений: знизу – значенням 25,8, зверху – значенням 165. Допускається відступ від застосування рядів переважних чисел, якщо округлення до бажаних чисел виходить за межі допустимої похибки, а також застосовувати арифметичну прогресію, коли значення параметрів технологічних об'єктів явно відрізняються від закономірностей геометричної прогресії. Єдиний порядок числових значень для лінійних розмірів зменшує кількість типорозмірів, що дозволяє економити матеріал й оснащення при розкрої, узгоджувати між собою різні види виробів при подальшому їх складанні. Більше того, застосування економічних методів розрахунку дозволяє провести оптимізацію кількості типорозмірів виробів у випадках довгострокового їх виробництва. З цією метою необхідно мати дані про випуск конкретного виробу та планований випуск на найближчі роки. Також потрібні звичайні відомості економічного характеру: витрати на матеріали, про заробітну плату та накладні витрати, про експлуатаційні та амортизаційні витрати, витрати на електроенергію, на забезпечення водою і т. п. Для техніко-економічного обґрунтування застосовують одну з двох методик: розрідження або збільшення густоти вихідного ряду.

4.2. Методика з розрідженням вихідного ряду

Для виробів з варійованими лінійними розмірами вибирають певний ряд їх значень, приймаючи його вихідним параметричним рядом.

Критерієм при оптимізації кількості типорозмірів виробів є різниця суми річних витрат для всіх членів вихідного ряду з відповідною сумою витрат нового розрідженого ряду. Розрідження ведуть до тих пір, поки сума загальних річних витрат не починає зростати.

Розрахунок починають з визначення коефіцієнта зміни програми виробництва ($K_{зп}$):

$$K_{зп} = B_n / B_p, \quad (4.1)$$

де B_n – річна програма виробництва вироби з лінійними розмірами з новоствореного ряду ($B_n = B_1 + B_2$);

V_n – річна програма виробництва з найбільшим лінійним розміром у вихідному ряду.

Визначають коефіцієнт зміни інших витрат ($K_{зм}$) у залежності від зміни програми виробництва виробу:

$$K_{зм} = K_{зп}^{-z}, \quad (4.2)$$

де z – показник ступеня, що характеризує ступінь інтенсивності зниження собівартості при зміні програми.

Розраховують величини інших витрат ($S'_{інш}$) (зарплата, накладні витрати тощо):

$$S'_{інш} = S_{ін} \cdot K_{зм}, \quad (4.3)$$

де $S_{інш}$ – інші витрати вихідної програми виробництва.

Значення $V_{ні}$, $S_{іні}$ – річна програма виробництва та витрати для кожного i -го типорозміру зміненої програми приймають за ближнім більшим числом вихідного ряду.

Витрати на матеріали (M_p) зміненої програми виробництва приймають для кожного типорозміру за значенням найближчого більшого числа вихідного ряду.

Собівартість виробів зміненої програми виробництва визначають (C'):

$$C' = M_p + S'_{ін}. \quad (4.4)$$

Визначають собівартість виробів кожного i -го типорозміру з урахуванням програми виробництва (C'_{pi}):

$$C'_{pi} = C' \cdot V_{ні}. \quad (4.5)$$

Програма виробництва виробів зі зміненим рядом типорозмірів буде доцільніше вихідного, якщо $\sum C'_{pi} < \sum C'$, де C – собівартість виготовлення річної програми випуску виробів відповідно до розмірів вихідного ряду. У разі незабезпеченості зазначеної нерівності виконують наступну ітерацію – розрахунок виконують для нового ряду, який розріджується відносно до вже розрідженого. Оптимізація завершується при забезпеченні умови нерівності.

4.3. Методика зі збільшенням густоти вихідного ряду

Приймають, що проміжні члени нового, більш густого ряду розмірів виробів організуються для виробів з проміжними розмірами через половинне значення для найближчого більшого значення вихідного ряду:

$$B_H = B_B / 2, \quad (4.6)$$

де B_H – нова програма випуску виробів відповідно до більш густого ряду типорозмірів;

B_B – вихідна програма виробництва для найближчого більшого члена вихідного ряду типорозмірів виробів.

Відповідно до п. 1 по суті приймається, що для всіх виробів коефіцієнт зміни програми ($K_{зп}$) дорівнює 0,5:

$$K_{зп} = B_H / B_B = 0,5. \quad (4.7)$$

Витрати на матеріали (M_p) для проміжних членів нового ряду визначають середнім арифметичним значенням витрат на матеріали найближчих членів вихідного ряду (M_1, M_2):

$$M_p = 0,5 (M_1 + M_2). \quad (4.8)$$

Значення $K_{зм}$, C' , C'_{pi} визначаються аналогічно методу з розрідженим рядом за відповідними формулами (4.2), (4.4) і (4.5).

Інші витрати для кожного виробу нового ряду ($S_{ін. н}$) вважають пропорційними величині інтервалу основного параметра:

$$S_{ін. н} = S_{ін. 1} + (S_{ін. 2} - S_{ін. 1}) \cdot (I_2 - I_n) / (I_2 - I_1), \quad (4.9)$$

де $S_{ін. 1}$, $S_{ін. 2}$ – інші витрати для меншого, більшого членів ряду;

I_1, I_2, I_n – значення розмірів меншого, більшого та нового члена ряду.

Значення $S'_{ін}$ визначають за формулою:

$$S'_{ін} = S'_{ін. н} \cdot K_{зм}. \quad (4.10)$$

Доцільність виробництва виробів з типорозмірами, що відповідають членам більш густого ряду, визначають за аналогією з критерієм п. 4.2.10.

4.4. Приклад виконання завдання із застосуванням методики розрідження ряду

Нехай на підприємстві виготовляють болти М36, які відповідно до галузевого стандарту ОН 20-03-24-68 можуть мати довжини (мм): від 110 до 220 з кроком 10 мм. Реально на підприємстві випускалися болти М36 наступних довжин (мм): 120, 140, 160, 180, 200 і 220. Таким чином, зазначений ряд становить арифметичну прогресію з кроком 20 мм. За виробництвом таких болтів на підприємстві зібрані відомості економічного характеру (табл. 4.1). Потрібно проаналізувати доцільність скорочення типорозмірів болтів.

Таблиця 4.1

Вихідний ряд довжин болтів М36 (крок 20 мм)

№ п/п	Довжина болтів, мм	Річна програма, (V_n), шт.	Витрати на матеріали (M_p), грн · м	Інші витрати ($S_{ін}$), грн	Собівартість болта (C'), грн	Річні витрати ($C'_{рі}$), грн
1	120	400	0,21	0,31	0,52	208
2	140	12 960	0,24	0,37	0,61	7 905
3	160	6 675	0,27	0,40	0,67	4 472
4	180	562	0,29	0,42	0,71	399
5	200	560	0,31	0,45	0,76	426
6	220	32	0,34	0,50	0,84	27
Всього:						13 437

Проаналізуємо удвічі розріджений ряд, для якого річна програма випуску болтів М36 (V_n) буде дорівнює сумі програм для суміжних довжин у ряду типорозмірів:

$$V_n (140) = 400 + 12\,960 = 13\,360 \text{ (шт.)};$$

$$V_n (180) = 6\,675 + 562 = 7\,237 \text{ (шт.)};$$

$$V_n (220) = 560 + 32 = 592 \text{ (шт.)}.$$

Створюємо таблицю економічних показників для програми виробництва розрідженого ряду (табл. 4.2) та вносимо в колонку 3 знайдені значення V_n .

Визначаємо коефіцієнти зміни програми ($K_{зп}$), як відношення програми нового розрідженого ряду до відповідної програми випуску болтів з великим числовим значенням вихідного ряду:

$$K_{зп} (140) = 13\,360 / 12\,960 = 1,03;$$

$$K_{зп} (180) = 7\,237 / 562 = 12,88;$$

$$K_{зп} (220) = 592 / 32 = 18,5.$$

З урахуванням ступеня інтенсивності зниження собівартості $z = 0,26$, визначаємо коефіцієнти зміни інших витрат за формулою (4.2):

$$K_{зм} (140) = 1 / 1,03^{0,26} = 1 / 1,008 = 0,992;$$

$$K_{зм} (180) = 1 / 12,88^{0,26} = 1 / 1,947 = 0,514;$$

$$K_{зм} (220) = 1 / 18,5^{0,26} = 1 / 2,135 = 0,468.$$

За найближчим більшим членом вихідного ряду приймаємо відповідні значення витрат на матеріали та заносимо їх в колонку 4 табл. 4.2 (0,24; 0,29 і 0,34 грн, відповідно).

Таблиця 4.2

Розріджений ряд довжин болтів М36 (крок 40 мм)

№ п/п	Довжина болтів, мм	Річна програма, (B_n), шт.	Витрати на матеріали (M_p), грн·м	Інші витрати ($S_{ін}$), грн	Собівартість болта (C'), грн	Річні витрати ($C'_{рі}$), грн
1	2	3	4	5	6	7
1	140	13 360	0,24	0,367	0,607	8 110
2	180	7 237	0,29	0,216	0,506	3 662
3	220	592	0,34	0,234	0,574	339
Всього:						12 111

За формулою (4.3) розраховуємо значення інших витрат і вносимо отримані величини в колонку 5 табл. 4.2 (0,367; 0,216 і 0,234 грн, відповідно).

Собівартість болтів з розмірами за новою програмою випуску визначаємо за формулою (4.4):

$$C' (140) = 0,24 + 0,367 = 0,607 \text{ (грн);}$$

$$C' (180) = 0,29 + 0,216 = 0,506 \text{ (грн);}$$

$$C' (220) = 0,34 + 0,234 = 0,574 \text{ (грн).}$$

Річні витрати за кожним типорозміром болтів за новою програмою випуску визначають за формулою (4.5):

$$C'_p(140) = 0,607 \cdot 13\,360 = 8\,110 \text{ (грн);}$$

$$C'_p(180) = 0,506 \cdot 7\,237 = 3\,662 \text{ (грн);}$$

$$C'_p(220) = 0,574 \cdot 592 = 339 \text{ (грн).}$$

Нова програма виробництва є доцільною через менші сумарні витрати в порівнянні з вихідною програмою ($12\,111 \text{ грн} < 13\,437 \text{ грн}$).

4.5. Приклад виконання завдання із застосуванням методики підвищення густоти ряду

Аналізується діяльність підприємства, що працює за попереднім режимом, але розглядається варіант збільшення кількості типорозмірів болта М36.

Будемо вважати, що типорозмір болтів описується арифметичною прогресією від 120 до 220 мм з меншим значенням кроку – 10 мм.

Програма випуску болтів М36 для нових членів ряду визначається за формулою (4.6) для найближчого більшого значення вихідного ряду:

$$V_n(130) = 12\,960 / 2 = 6\,480 \text{ (шт.);}$$

$$V_n(150) = 6\,675 / 2 = 3\,338 \text{ (шт.);}$$

$$V_n(170) = 562 / 2 = 281 \text{ (шт.);}$$

$$V_n(190) = 560 / 2 = 280 \text{ (шт.);}$$

$$V_n(210) = 32 / 2 = 16 \text{ (шт.).}$$

Створюємо таблицю економічних показників для нової програми виробництва та вносимо знайдені значення V_{ni} в колонку 3 табл. 4.3.

Коефіцієнт зміни програми визначимо за формулою (4.7):

$$K_{зп} = 6\,480 / 12\,960 = 0,5.$$

Витрати на матеріали за новою програмною визначаємо за формулою (4.8):

$$M_p(130) = (0,21 + 0,24) / 2 = 0,225 \text{ (грн);}$$

$$M_p(150) = (0,24 + 0,27) / 2 = 0,255 \text{ (грн);}$$

$$M_p(170) = (0,27 + 0,29) / 2 = 0,28 \text{ (грн);}$$

$$M_p(190) = (0,29 + 0,31) / 2 = 0,3 \text{ (грн);}$$

$$M_p(210) = (0,31 + 0,34) / 2 = 0,325 \text{ (грн).}$$

Отримані значення заносимо в колонку 4 табл. 4.3.

Коефіцієнт зміни інших витрат визначимо за формулою (4.2) при $Z = 0,26$:

$$K_{зм} = 1 / 0,5 \cdot 0,26 = 1,197.$$

Інші витрати на виробництво болтів для нових довжин визначаємо за формулою (4.9):

$$S_{ін.н}(130) = 0,31 + (0,37 - 0,31) \cdot (140 - 130) / (140 - 120) = 0,34 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін.н}(150) = 0,37 + (0,4 - 0,37) \cdot (160 - 150) / (160 - 140) = 0,385 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін.н}(170) = 0,4 + (0,42 - 0,4) \cdot (180 - 170) / (180 - 160) = 0,41 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін.н}(190) = 0,42 + (0,45 - 0,42) \cdot (200 - 190) / (200 - 180) = 0,435 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін.н}(210) = 0,45 + (0,5 - 0,45) \cdot (220 - 210) / (220 - 200) = 0,475 \text{ (грн).}$$

Інші витрати на виробництво болтів за новою програмою, але з довжиною, що збігається з вихідним рядом, визначаємо за формулою (4.9), з урахуванням більшого члена ряду:

$$S'_{ін}(130) = 0,37 \cdot 1,197 = 0,443 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін}(160) = 0,41 \cdot 1,197 = 0,478 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін}(180) = 0,42 \cdot 1,197 = 0,503 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін}(200) = 0,45 \cdot 1,197 = 0,539 \text{ (грн);}$$

$$S'_{ін}(220) = 0,5 \cdot 1,197 = 0,599 \text{ (грн).}$$

Значення C' та C'_{pi} нескладно визначити за формулами (4.4) та (4.5). Опустимо їх найпростіший розрахунок і занесемо всі розраховані значення в табл. 4.3.

Ряд підвищеної густоти типорозмірів болтів М36 (крок 10 мм)

№ п/п	Довжина болтів, мм	Річна програма, (B_n), шт.	Витрати на матеріали (M_p), грн·м	Інші витрати ($S_{ін}$), грн	Собівартість болта (C'), грн	Річні витрати ($C'_{рі}$), грн
1	2	3	4	5	6	7
1	120	400	0,21	0,31	0,52	208
2	130	6 480	0,225	0,34	0,565	3 661
3	140	6 480	0,24	0,443	0,683	4 425
4	150	3 338	0,255	0,385	0,640	2 136
5	160	3 338	0,27	0,479	0,749	2 499
6	170	281	0,28	0,41	0,690	194
7	180	281	0,29	0,503	0,793	222
8	190	280	0,30	0,435	0,735	205
9	200	280	0,31	0,539	0,849	237
10	210	16	0,325	0,475	0,8	13
11	220	16	0,34	0,599	0,939	15
Всього:						13 613

Як видно з сумарних річних витрат програма випуску болтів М36 (табл. 4.3) нераціональна, оскільки вони перевищують витрати за вихідною програмою (13 613 грн > 13 437 грн).

4.6. Індивідуальні розрахункові завдання

Необхідно проаналізувати доцільність переходу підприємства на програму випуску виробів з новим рядом типорозмірів (студенти, записані в журналі групи під парним номером – аналізують варіант з розрідженим рядом, під непарними – з підвищеною густотою ряду).

Розрахунки виконати за даними підприємства, наведеними в табл. 4.4. Новий ряд типорозмірів встановлювати тільки для шести значень вихідного ряду типорозмірів, які мають найтісніший контакт номеру, під яким студент записаний в журналі групи.

Вихідні дані для розрахунків

№ п/п	Довжина виробу, мм	B	M	S	$C = M + S$	$C_p = C \cdot B$
1	10	2	0,5	7,5	8,0	16,0
2	14	4	0,5	7,5	8,0	32,0
3	18	7	0,3	8,0	8,3	58,1
4	22	6	0,5	8,0	8,5	51,0
5	26	7	0,5	8,0	8,5	59,5
6	30	20	0,7	8,5	9,2	184,0
7	34	30	0,5	8,5	9,0	270,0
8	38	40	1,0	9,0	10,0	400,0
9	42	8	1,5	11,0	12,5	100,0
10	46	15	2,0	11,2	13,2	198,0
11	50	25	2,2	12,0	14,2	355,0
12	54	30	2,2	12,5	14,7	441,0
13	58	35	3,0	14,0	17,0	595,0
14	62	15	2,0	14,0	16,0	240,0
15	66	10	3,5	20,0	23,5	235,0
16	70	8	3,6	20,5	24,1	192,8
17	74	9	5,9	24,5	30,4	273,6
18	78	3	5,9	30,0	35,9	107,7
19	82	15	5,9	35,0	40,9	613,5
20	86	25	6,0	35,0	41,0	1 025,0
21	90	40	7,5	35,0	42,5	1 700,0
22	94	40	8,0	50,0	58,0	2 320,0
23	98	30	8,5	50,0	58,5	1 755,0
24	102	2	9,5	70,5	80,0	160,0
25	106	4	10,0	80,0	90,0	360,0
26	110	6	10,0	90,0	100,0	600,0

4.7. Запитання для самодіагностики

1. Що таке "логос" у розумінні математиків піфагорійської школи?
2. Як встановлюється значення золотої пропорції при розподілі одиничного відрізка на дві частини?
3. Як встановлюється значення золотого Вурфа при розподілі одиничного відрізка на три частини?

4. Як організуються два ряди чисел Фіббоначі?
5. Наведіть приклади з життя, техніки, в яких виявляється золота пропорція?
6. Що мають на увазі стандарти ISO під терміном "якість продукції"?
7. Що таке "характеристики продукції"?
8. Які види діяльності називають тріадою якості?
9. Визначте області діяльності стандартизації, метрології та сертифікації.
10. Назвіть основні принципи стандартизації.
11. Які методи застосовує стандартизація?
12. Назвіть сутність системи переважних чисел.

Тема 4. Закономірності розвитку технологічних систем

Завдання 5. Матеріальний й енергетичний баланси технологічних процесів

5.1. Основні теоретичні положення

Технологічний процес є основою будь-якого промислового виробництва та являє собою сукупність певних операцій у конкретній послідовності з метою видобутку, переробки сировини в напівфабрикати та готову продукцію. Для ефективного здійснення технологічного процесу необхідно виконати розрахунки, в яких співвідносять між собою всі введені й отримані у виробництві матеріали, різні види енергії. Результат цих розрахунків, власне, прихід і витрата, називають технологічним балансом. Форми представлення результатів розрахунку вибирають з позиції їх кращого сприйняття: рівняння, діаграми, таблиці, графіки, їх комбінації.

Технологічний баланс складається з матеріального й енергетичного (частіше теплого) балансів. В основі цих балансів лежать закони збереження маси й енергії: кількість введених у технологічний процес сировинних матеріалів (їх енергії) має дорівнювати кількості основних і проміжних продуктів, а також відходів виробництва (їх енергії). Тобто маса (енергія), що входить у технологічну систему, повинна дорівнювати масі (енергії) на виході та масі (енергії), що залишається в складі системи.

У балансових розрахунках використовують фізико-хімічні властивості матеріалів, їх закономірні зміни, стехіометричні співвідношення, термохімічні розрахунки. Технологічний баланс дозволяє аналізувати ефективність проведення процесів, визначати відхилення фактичного виходу продукції від теоретично можливого, коефіцієнти корисного використання електроенергії, палива, видаткові значення для сировини на різних стадіях виробництва, втрати матеріалів і різних видів енергії.

Будь-яка речовина має таку властивість, як теплоємність, що визначає можливість переносу певної кількості енергії матеріалами при попаданні їх в технологічну систему й при виході з цієї системи. Це важлива обставина, яка визначає черговість виконання стадій технологічного балансу: спочатку складається матеріальний баланс, а потім – енергетичний.

Такі види виробництв, де реалізуються лише фізичні процеси (без зміни складу та структури речовин), при складанні енергетичного (теплого) балансу враховують лише теплові еквіваленти електроенергії, водяної пари, механічної енергії і фізичне тепло (Q_{ϕ}). Для фізичного тепла, що переноситься матеріальним тілом, у цьому випадку застосовують спрощену формулу:

$$Q_{\phi} = M \cdot c \cdot t, \quad (5.1)$$

де M – маса тіла;

c – середня теплоємність матеріалу, з якого складається тіло і за відповідної температури входу (виходу) до (з) технологічної системи;

t – температура входу (виходу) матеріального тіла до (з) технологічної системи.

Прикладами підприємств, де ведуться лише фізичні технологічні процеси є механо-складальні, сортувальні-пакувальні, зерноочисні, м'ясо-заготівельні, лісопильні та інші підприємства. Однак значного поширення набули підприємства, на яких застосовуються хімічні технології (зі зміною складу та структури речовин). Хімічні реакції можуть здійснюватися і з виділенням (екзотермічні), і з поглинанням тепла (ендотермічні), що визначає необхідність їх обліку, і в матеріальному, і в енергетичному балансах. Безумовно, що для складання таких балансів необхідна відповідна хіміко-технологічна кваліфікація розраховувача. Однак загальні процедури таких розрахунків повинні бути засвоєні майбутніми економістами. У та-

ких випадках баланс складають за рівнянням хімічних реакцій з урахуванням можливості протікання паралельних і побічних взаємодій. Зазвичай побічні реакції обумовлені наявністю домішок у вихідних компонентах і в матеріальному балансі необхідно враховувати маси всіх вихідних речовин, домішок, а також маси основних, проміжних продуктів і відходів. Похибка балансу є свідченням або неповноти знань про механізм процесу, або обумовлена неточністю фізико-хімічного аналізу матеріалів, або невраховані побічні реакції, або помилками розрахункового характеру.

Маси речовин знаходять окремо для твердого (M_T), рідкого (M_p) і газоподібного (M_r) агрегатного стану всіх фаз. Відповідно, можна записати балансове рівняння:

$$M_T + M_p + M_r = M'_T + M'_p + M'_r, \quad (5.2)$$

де $M'_T + M'_p + M'_r$ – маси продуктів, що утворилися в хіміко-технологічному процесі (витрата).

З огляду на те, що в реальних технологічних процесах частина фаз залишається інертною або вводиться в надлишку та не бере участі у взаємодії, а так само той факт, що процес рідко йде до кінця та частина вихідних речовин залишається не прореагованими, – рівняння (5.2) в більш загальній формі матиме вигляд (без урахування поділу за агрегатним станом):

$$M_A + M_B = M_C + M_D + M_A^* + M_B^* + \dots + M_{\Pi} + M_{\text{Відх}}, \quad (5.3)$$

де M_A, M_B – маси вихідних речовин А і В;

M_C, M_D – маси основних продуктів реакції;

M_A^*, M_B^* – маси основних вихідних речовин, що не прореагували, А і В;

M_{Π} – маса побічних продуктів;

$M_{\text{Відх}}$ – маса відходів.

Результати розрахунків нормують на одиницю готової продукції, одиницю часу, одиницю маси сировини для полегшення аналізу. Найбільш часто баланс надходжень і витрат мас оформляють у вигляді таблиць з відповідними лівою та правою частинами. У кожній частині таблиці всі статті балансу виражають у масових, об'ємних одиницях і у відсотках, що необхідно для встановлення ступеня перетворення вихідних речовин, виходу продуктів аналізованого процесу.

Тепловий баланс хімічних процесів заснований на законі збереження енергії й означає, що кількість теплової енергії, що підводиться в зону реакційної взаємодії, дорівнює кількості теплової енергії, що відводять продукти з цієї зони:

$$Q_{\text{ф}} + \sum Q_{\text{е}} + Q_{\text{в}} = Q'_{\text{ф}} + Q'_{\text{п}}, \quad (5.4)$$

де $Q_{\text{ф}}$ – фактична тепла енергія, що надходить в зону реакційної взаємодії;

$Q_{\text{е}}$ – теплові ефекти реакцій і фазових переходів реагентів (плавлення, кристалізація, розчинення, випаровування, поліморфні перетворення), які при "+" знаку поміщають в прибуткову частину балансу, а при "-" – у видаткову частину балансу;

$Q_{\text{в}}$ – теплота, введена в зону взаємодії, але залишилася поза безпосередньою участю в хімічній реакції (обігрів або охолодження компонентів взаємодії за рахунок використання газу, палива, гарячої води, хладоагентів і т. п.);

$Q'_{\text{ф}}$ – фізичне тепло, що видаляється з зони взаємодії продуктів реакції;

$Q'_{\text{п}}$ – втрати тепла в навколишнє середовище.

Теплові ефекти реакцій і фазових переходів розраховують або запозичують у готовому вигляді з термохімічних даних (відзначимо, що в термохімії і термодинаміці прийняті протилежні знаки для теплових ефектів екзо- та ендотермічних реакцій). Втрати тепла в навколишнє середовище відбуваються в результаті теплопровідності стінок реактора й апаратури для проведення процесу, світлового випромінювання нагрітих реагентів і конвективного теплообміну. У деяких випадках тепловтрати можуть бути розраховані з урахуванням коефіцієнтів теплопровідності стінових матеріалів, але частіше – це дані експериментальні.

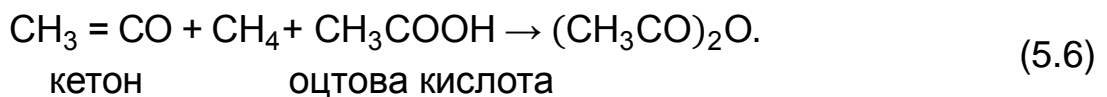
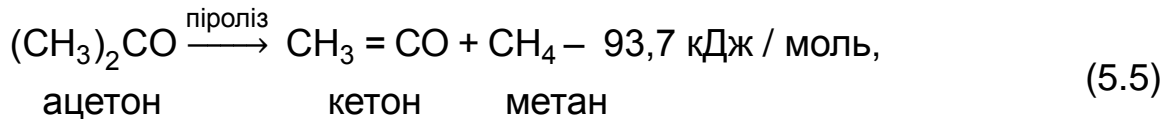
Результати теплового балансу також, як і матеріального, зручно представляти у вигляді таблиць, виражаючи їх у кДж, а також у відсотках.

5.2. Індивідуальні розрахункові завдання

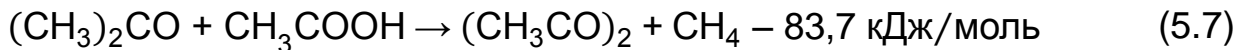
Для виконання пропонується кілька варіантів завдань:

1. Скласти тепловий баланс для піролізу ацетону у виробництві оцтового ангідриду, якщо продуктивність за оцтовим ангідридом дорівнює

x т / добу, температура процесу y °С, ступінь перетворення ацетону на кетон z %, склад природного газу: k % метану, l % азоту. Теплоємність ацетону прийняти: при 20 °С – 2,09 кДж / кг, реакційної суміші при температурі експлуатації – 2,26 кДж / кг. Теплотворна здатність метану при згорянні 89 0310 Дж / моль; теплота випаровування ацетону 553,5 кДж / кг. Механізм хімічної взаємодії описується реакціями:



Сумарно:



2. Скласти матеріальний баланс виробництва ванадату натрію (NaVO_3) в печі окисного випалу ванадієвого шлаку, що містить z % V_2O_5 . Випал проводиться в повітряному середовищі, шлак попередньо подрібнений і змішаний з k % NaCl . Розрахунок зробити з нормуванням на 1 т готового продукту. Вважати, що механізм хімічної взаємодії відповідає реакціям:



3. Виконати розрахунки та скласти матеріальний баланс електрокрекінгу природного газу, що складається (об'ємні %): z % метану і k % азоту. Врахувати, що на виході електродугового апарату газ містить l % ацетилену. Розрахунок вести на 1000 м³ вихідного природного газу, лінійна швидкість надходження якого в апарат m м / с. Побічними реакціями знехтувати та вважати, що механізм процесу описується цільовою хімічною реакцією:



Щільності, кг/м³: CH_4 – 0,716 8; N_2 – 1,250; H_2 – 0,089 88; C_2H_2 – 1,153 5.

Вихідні дані для розрахунків представлено в табл. 5.1.

Проаналізувати складені баланси та пояснити можливі причини нев'язки.

Таблиця 5.1

Вихідні данні

№ п/п	Варіант	Значення параметрів					
		x	y	z	k	l	m
1	1	10	800	20	89	11	–
2	1	12	820	21	90	10	–
3	1	15	840	23	95	5	–
4	1	20	810	19	98	2	–
5	1	17	850	24	97	3	–
6	1	19	800	25	98	2	–
7	1	24	830	27	96	4	–
8	1	26	860	25	92	8	–
9	1	30	810	30	94	6	–
10	2	–	–	10	10	–	–
11	2	–	–	11	11	–	–
12	2	–	–	12	12	–	–
13	2	–	–	13	10	–	–
14	2	–	–	12	11	–	–
15	2	–	–	15	15	–	–
16	2	–	–	14	16	–	–
17	2	–	–	16	18	–	–
18	2	–	–	18	16	–	–
19	3	–	–	89	11	14	800
20	3	–	–	91	9	15	810
21	3	–	–	93	7	13	820
22	3	–	–	95	5	15	830
23	3	–	–	97	3	17	840
24	3	–	–	90	10	20	850
25	3	–	–	92	8	21	860
26	3	–	–	94	6	19	870
27	3	–	–	96	4	16	900

5.3. Приклад виконання завдання зі складання матеріального балансу

Нехай студент виконує 2 варіант, у якому $z = 14\%$, $k = 14\%$.

Визначаємо кількість оксиду ванадію (V_2O_5), необхідну для отримання 1 т ванадату натрію ($NaVO_3$). Використовуємо рівняння реакції (5.9) та молярні маси (кг): $M(V_2O_5) = 182$; $M(NaVO_3) = 122$, складаючи пропорцію:

$$\begin{aligned} \text{на отримання } 2 \cdot 122 \text{ кг } NaVO_3 \text{ необхідно } 182 \text{ кг } V_2O_5, \\ \text{а на отримання } 1\,000 \text{ кг } NaVO_3 \text{ необхідно } x \text{ кг } V_2O_5 \\ x = 1\,000 \cdot 182 / 244 = 745 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

1. У зв'язку зі застосуванням шлаку, в якому міститься лише 14% V_2O_5 , його потреба становитиме:

$$745 / 0,14 = 5\,321,43 \text{ (кг)}.$$

2. Тепер визначимо теоретичну витрату хлориду натрію, використовуючи рівняння реакції (5.8) і (5.9), визначивши молярну масу $NaCl$ (кг): $M(NaCl) = 58,5$. Для цього складаємо пропорцію:

$$\begin{aligned} \text{з } 2 \cdot 58,5 \text{ кг } NaCl \text{ утворюється } 2 \cdot 122 \text{ кг } NaVO_3, \\ \text{а з } x \text{ кг } NaCl \text{ утворюється } 1\,000 \text{ кг } NaVO_3 \\ x = 1\,000 \cdot 2 \cdot 58,5 / 244 = 480 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

3. Врахуємо, що реально $NaCl$ беруть у кількості 14% від маси шлаку ($5\,321,43$ кг), тобто 745 кг. Тому частина $NaCl$ не прореагує і залишкова кількість $NaCl$ складе:

$$745 - 480 = 265 \text{ (кг)}.$$

4. Тепер розрахуємо необхідну кількість кисню для отримання $1\,000$ кг $NaVO_3$, враховуючи рівняння (5.8) і $M(O_2) = 32$ кг. Складемо і вирішимо пропорцію:

$$\begin{aligned} 2 \cdot 58,5 \text{ кг } NaCl \text{ взаємодіє з } 0,5 \cdot 32 \text{ кг } O_2, \\ \text{а } 480 \text{ кг } NaCl \text{ потребує } x \text{ кг } O_2 \\ x = 0,5 \cdot 32 \cdot 480 / (2 \cdot 58,5) = 65,64 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

5. Визначаємо кількість хлору, що виділяється за реакціями (5.8) і (5.9) в умовах окисного випалу, враховуючи $M(\text{Cl}_2) = 71$ кг. Для цього складаємо і вирішуємо пропорцію:

$$71 \text{ кг Cl}_2 \text{ виділяється при отриманні } 2 \cdot 122 \text{ кг NaVO}_3,$$

$$\text{а } x \text{ кг Cl}_2 \text{ виділяється при отриманні } 1000 \text{ кг NaVO}_3$$

$$x = 71 \cdot 1\,000 / 244 = 291 \text{ (кг)}.$$

6. У сумарній взаємодії (5.8) і (5.9) Na_2O є проміжним продуктом, його прихід і витрата визначати не має сенсу, бо вони теоретично рівні.

7. Складаємо таблицю з результатами розрахунків, власне, матеріальний баланс (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Матеріальний баланс на 1 т NaVO_3

Надходження			Витрати		
Вихідні речовини	кг	%	Продукти взаємодії	кг	%
Шлак ванадієвий	5 321,43	86,78	Збіднений V_2O_5 шлак (5321,43 – 745)	4 576,43	74,63
Хлорид натрію	745,00	12,15	Ванадат натрію	1 000,00	16,31
Кисень	65,64	1,07	Хлорид натрію	265,00	4,32
			Хлор	291,00	4,74
Всього	6 132,07	100,00	Всього	6 132,43	100,00

Нев'язка балансу: 0,36 кг, тобто $5,8 \cdot 10^{-3} \%$.

8. Проаналізуємо матеріальний баланс:

- нев'язка дуже мала, ймовірно є результатом округлення чисел у розрахунках;
- максимально витрачається ванадієвомісткий шлак, як компонент, містить прекурсор (V_2O_5) для синтезу NaVO_3 ;
- мінімально витрачається кисень, що може дати рекомендацію про заміну чистого кисню на повітря ($\sim 21 \%$ O_2 і 79% N_2);
- хлорид натрію витрачається не повною мірою і залишається в продуктах взаємодії, що може дати рекомендацію про його скорочення на 3 – 4 %.

5.4. Приклад зі складання матеріального балансу

1. Нехай студент виконує завдання 3 варіанту з наступними значеннями параметрів: $z = 98$ об. %; $k = 2$ об. %; $l = 14$ %. Розрахунок на $1000 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$.

2. Значення z і k фактично вказують, що в 1000 м^3 міститься 980 м^3 метану і 20 м^3 азоту. Тоді згідно з реакцією (5.10) і позначивши ступінь перетворення метану через x , можна записати склад реакційної суміші (м^3):

CH_4	$980 - x$
C_2H_2	$0,5x$
H_2	$1,5x$
N_2	20
Разом:	$1000 + x$

3. Значення x можна визначити, враховуючи 14 % вмісту ацетилену в газовій суміші на виході з електродугового апарату. Для цього складаємо пропорцію на основі вище наведеного складу реакційної суміші (м^3):

$$\begin{aligned}(1000 + x) &\text{ становить } 100 \%, \\ 0,5x &\text{ становить } 14 \% (\text{C}_2\text{H}_2); \\ 0,5x \cdot 100 &= (1000 + x) \cdot 14; \\ 50x &= 14000 + 14x; \\ 36x + 14000 &\text{ або } x + 388,89 (\text{м}^3).\end{aligned}$$

4. З урахуванням отриманого значення x визначаємо обсяг усіх компонентів реакційної суміші (м^3):

$$\begin{aligned}\text{C}_2\text{H}_2 &= 0,5x = 194,44; \\ \text{CH}_4 &= 980 - 388,89 = 591,11; \\ \text{H}_2 &= 1,5x = 1,5 \cdot 388,89 = 583,34; \\ \text{N}_2 &= 20.\end{aligned}$$

5. Складаємо таблицю матеріального балансу на 1000 м^3 вихідного природного газу (табл. 5.3).

Матеріальний баланс

Надходження			Витрати		
Вихідні речовини	м ³	%	Продукти взаємодії	кг	%
Метан (CH ₄)	980	98,00	Ацетилен (C ₂ H ₂)	194,44	14,00
Азот (N ₂)	20	2,00	Метан (CH ₄)	591,11	42,56
			Водень (H ₂)	583,34	42,00
			Азот (N ₂)	20	1,44
Всього	1 000	100,00	Всього	1 388,89	100,00

6. Нев'язку балансу в об'ємних одиницях вимірювання не проводять та для її визначення їх переводять в одиниці маси з урахуванням щільності відповідних газових компонентів (рекомендується виконати самостійно).

7. Аналіз балансових статей витрат показує, що ступінь перетворення метану на ацетилен може бути збільшено за рахунок підвищення ступеня очищення вихідного природного газу від азоту, який не бере у взаємодію і є баластним компонентом. Крім того, ступінь виходу ацетилену, ймовірно, можна збільшити за рахунок зниження швидкості газу на вході в електродуговий апарат, оскільки підвищиться час знаходження газу в зоні взаємодії. Однак разом з ростом ступеня виходу C₂H₂ слід очікувати більш високого виходу в продуктах взаємодії газоподібного водню, що може спричинити вживання додаткових заходів щодо забезпечення вибухобезпеки апарату.

5.5. Приклад складання теплового балансу

1. Нехай студент виконує завдання 1 варіанту з наступними значеннями параметрів: $x = 22$ т / добу; $y = 800$ °С; $z = 22$ %; $k = 98$ %; $l = 2$ %.

2. Визначимо спочатку витрати ацетону в реакції (5.7), враховуючи молярні маси ацетону (58 кг) й ангідриду (102 кг). Для цього складаємо пропорцію:

$$102 \text{ кг ангідриду виходить з } 58 \text{ кг ацетону,}$$

$$\text{а } 22\,000 \text{ кг ангідриду виходить з } X \text{ кг ацетону.}$$

$$X = 58 \cdot 22\,000 / 102 = 12\,509,8 \text{ кг.}$$

Отримане значення – це добова витрата ацетону, а зручніше оперувати годинною витратою (Q):

$$Q = 12\,509,8 / 24 = 521,24 \text{ (кг / год)}.$$

3. З урахуванням заданого ступеня перетворення витрата ацетону складе:

$$521,24 / 0,22 = 2\,369,29 \text{ (кг / год)}.$$

4. З розрахованою кількістю ацетону, що необхідна для забезпечення заданої продуктивності по ангідриду, буде прихід тепла в реакційну зону. Прихід цього тепла (Q_1) визначаємо за формулою (5.1):

$$Q_1 = 2\,369,29 \cdot 2,09 \cdot 20 = 99\,036,32 \text{ (кДж / год)}.$$

За рахунок випаровування ацетону буде витрата тепла (Q_2):

$$Q_2 = 2\,369,29 \cdot 553,5 = 1\,311\,402,02 \text{ (кДж / год)}.$$

5. Визначимо витрати тепла за рахунок теплового ефекту реакції (5.5). Для цього складемо пропорцію:

під час реакції 58 кг ацетону (1 моль) витрачається 83,7 кДж,
а реально взаємодіє з ацетоном 521,24 кг / год,
що забезпечить витрату тепла Q_p :

$$Q_p = 521,24 \cdot 83,7 / 58 = 752,2 \text{ (кДж / год)}.$$

6. За формулою (5.1) визначимо витрати тепла з газами, що відходять (Q_3):

$$Q_3 = 2\,369,29 \cdot 2,26 \cdot 800 = 4\,283\,676,32 \text{ (кДж / год)}.$$

7. Сумарна витрата теплоти складається з Q_2 , Q_3 , Q_p :

$$1\,311\,402,02 + 752,2 + 4\,283\,676,32 = 5\,595\,830,54 \text{ (кДж / год)}.$$

8. Очевидно, що різниця надходжень і витрат тепла компенсується за рахунок згоряння метану в природному газі:

$$5\,595\,830,54 - 99\,036,32 = 5\,496\,794,22 \text{ (кДж / год)}.$$

9. За результатом розрахунку п. 8 можна визначити необхідну кількість метану для спалювання, що забезпечує задану продуктивність:

$$5\,496\,794,22 / 890\,310 = 6,174 \text{ (кмоль)}.$$

Відповідно, в перерахунку на природний газ:

$$6,174 \cdot 22,4 / 0,98 = 141,12 \text{ (м}^3\text{)}.$$

10. Результати розрахунків зводимо в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Тепловий баланс піролізу ацетону

Прихід тепла	кДж	%	Витрати тепла	кДж	%
З ацетоном	99 036,32	1,77	З ацетоном (випарювання)	1 311 402,02	23,44
Від згоряння природного газу	5 496 794,22	98,23	Теплота реакції	752,20	0,01
			З газами, що відходять	4 283 676,32	76,55
Всього:	5 595 830,54	100,00	Всього:	5 595 830,54	100,00

5.6. Запитання для самодіагностики

1. З яких частин складається технологічний баланс?
2. Який вид балансу розраховують першим і чому?
3. Який фундаментальний закон є основою енергетичного балансу?
4. Який фундаментальний закон є основою матеріального балансу?
5. Що дозволяє аналізувати матеріальний баланс?
6. Як пов'язана маса речовини з кількістю фізичного тепла?
7. Які процеси належать до фізичних і до хімічних?
8. Наведіть приклади процесів з виділенням і поглинанням тепла.

9. З чим може бути пов'язана нев'язка матеріального балансу?

10. Із якою метою в матеріальному й тепловому балансі за табличної форми подання передбачають колонки %?

Тема 5. Основи створення ресурсозберігаючих та безвідходних технологій

Завдання 6. Вторинні енергетичні ресурси

6.1. Загальні теоретичні положення

Значний економічний ефект у сучасних технологічних системах може бути отриманий за рахунок використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР). Слово "вторинні" означає, що такі енергетичні ресурси вже були застосовані в технологічному процесі. По суті, ВЕР – енергетичний потенціал продукції, відходів і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних процесах (агрегатах, установках), який вже не застосовується в цих процесах, але може бути неповною мірою реалізований для енергопостачання інших агрегатів й установок. Термін "енергетичні ресурси" має на увазі наявність у перерахованих вище продуктах виробництва запасу енергії: фізичного тепла, хімічно пов'язаного тепла і потенційної енергії перепаду тиску. При цьому хімічно пов'язане тепло в цільовій продукції паливно-енергетичних установок до ВЕР не відносять (продукція нафтопереробних підприємств, коксових батарей, газогенераторних і вуглезбагачувальних установок та інших).

Все ВЕР умовно поділяють на три групи:

1. Горючі (паливні) ВЕР – це відходи виробництв, що містять у своєму складі певну кількість компонентів, які здатні за рахунок окислення забезпечувати протікання екзотермічних процесів. Найчастіше такими компонентами є вуглецеві й вуглеводневі залишки.

2. Теплові ВЕР – це всі продукти виробництва, які за рахунок своєї теплоємності мають надмірне фізичне тепло і певна його частка може раціонально використовуватися (тепло основної, побічної продукції або відходів; тепло робочих тіл систем примусового охолодження агрегатів, печей; тепло гарячої води, пари, відпрацьованих газів).

3. ВЕР перепаду тиску – це потенційна енергія рідких і газоподібних продуктів, що залишають технологічну систему з тиском, відмінним від

атмосферного (частіше, з надлишковим тиском). Перепад тиску може виступати в якості рушійної сили механічних пристроїв й ефективно перекладається на електричну енергію.

Відповідно до груп ВЕР поділяють і напрямки економії паливно-енергетичних ресурсів: паливна, теплова, силова, а також комбінована.

Основними поняттями є:

вихід ВЕР – кількість ВЕР, що утворюються в даному технологічному процесі на одиницю часу;

вироблення за рахунок ВЕР – кількість тепла (холоду), електроенергії, механічної енергії (роботи), вироблених відповідними утилізаційними установками. При цьому розрізняють теоретично можливе, плановане і фактичне вироблення за рахунок ВЕР;

використання ВЕР – кількість енергії ВЕР, при застосуванні у споживача, яке також може бути теоретично можливим, планованим і фактичним;

коефіцієнт вироблення за рахунок ВЕР – відношення фактичної (іноді, планованої) до теоретично можливого вироблення за рахунок ВЕР;

коефіцієнт утилізації – відношення фактичної економії палива за рахунок ВЕР до теоретично можливого;

економія палива за рахунок ВЕР – кількість первинного палива, яке економиться за рахунок ВЕР.

Для розрахунку виходу ВЕР застосовують результати матеріальних і теплових балансів технологічних процесів. Питомий вихід ВЕР (q) визначають за формулою:

$$q = m \cdot П, \quad (6.1)$$

де m – питома кількість енергоносія у вигляді рідких, твердих або газоподібних продуктів (з даних матеріального балансу);

$П$ – енергетичний потенціал енергоносія на одиницю продукції, одиниці енергії / кг (або m^3).

Для горючих ВЕР:

$$П = Q_H, \quad (6.2)$$

де Q_H – нижча теплота згорання.

Для ВЕР перепаду тиску:

$$\Pi = A, \quad (6.3)$$

де A – робота ізоентропійного розширення (стискання).

Для теплових ВЕР:

$$\Pi = \Delta H, \quad (6.4)$$

де ΔH – ентальпія, яку обчислюють за формулами:

$$\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta t, \quad (6.5)$$

$$\Delta H = \sum (r_i \cdot c_i) \cdot \Delta t, \quad (6.6)$$

де c_i – середня теплоємність речовини в інтервалі температур i -го теплоносія Δt ;

r_i – об'ємна частка i -го компонента газоподібного теплоносія (формула 6.6) – для газоподібних теплових ВЕР, формула (6.5) – для рідких і твердих теплових ВЕР.

Роботу ізоентропійного розширення (стискання) для рідких і газоподібних енергоносіїв розраховують за формулою (6.7) і (6.8), відповідно:

$$A = 0,027 (P_1 - P_2) / j; \quad (6.7)$$

$$A = (\Delta H_1 - \Delta H_2) / 680, \quad (6.8)$$

де P_1 та P_2 – тиск енергоносія на виході з технологічного процесу і на вході на наступну стадію технологічного застосування або при скиданні в атмосферу;

j – питома вага;

$\Delta H_1, \Delta H_2$ – ентальпії газів перед розширенням (стисканням) при тиску P_1 і температурі T_1 та в кінці процесу при тиску P_2 і температурі T_1 , відповідно.

Об'єм виходу ВЕР (Q) за певний період часу визначають за формулою:

$$Q = q \cdot M, \quad (6.9)$$

де M – вихід продукції або витрата палива (сировини) за аналізований період часу.

Вироблення за рахунок ВЕР розраховується з урахуванням їх виду. Теоретично можливе вироблення тепла (холоду) в утилізаційній установці за рахунок теплових ВЕР визначається за співвідношенням:

$$Q_{\text{тепла}} = M \cdot m_{\text{ВЕР}} \cdot (\Delta H_1 - \Delta H_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi), \quad (6.10)$$

$$Q_{\text{холода}} = M \cdot m_{\text{ВЕР}} \cdot (\Delta H_1 - \Delta H_2) \cdot \beta \cdot \gamma, \quad (6.11)$$

де $\Delta H_1, \Delta H_2$ – ентальпії енергоносія на виході з технологічного агрегату і на виході з утилізаційної установки, відповідно;

β – коефіцієнт, що враховує невідповідність режиму і кількості годин роботи установки й агрегату – джерела ВЕР;

ξ – коефіцієнт втрат тепла утилізаційною установкою в навколишнє середовище.

Вироблення електроенергії (W) в утилізаційній установці за рахунок ВЕР перепаду тиску розраховується за формулою:

$$W = M \cdot m_{\text{ВЕР}} \cdot \alpha \cdot \alpha_m \cdot \alpha_e, \quad (6.12)$$

де $\alpha, \alpha_m, \alpha_e$ – коефіцієнти корисної дії програми утилізації установки (турбіни): внутрішній відносний, механічний й електрогенератора, відповідно.

Вироблення електроенергії (W) за рахунок утилізаційної пари визначається за формулою:

$$W = D \cdot (\Delta H_1 - \Delta H_2) \cdot \alpha_m \cdot \alpha_e / 860, \quad (6.13)$$

де D – річна витрата утилізаційної пари на вироблення електроенергії;

H_1, H_2 – ентальпія пари при вході та виході з турбіни.

При виробленні електроенергії (W) за рахунок механічної енергії (роботи) використовують формулу (6.13), опускаючи α_e , бо фактично застосовують турбіни для приводу робочих машин.

Розрахунки економії первинного палива також проводять з урахуванням напрямку використання ВЕР.

При тепловому напрямку використання ВЕР економія палива (В) розраховується за формулами:

$$B = v \cdot Q_T \cdot \xi \text{ – при виробленні тепла,} \quad (6.14)$$

$$B = v \cdot Q_T / \eta \text{ – при виробленні холоду,} \quad (6.15)$$

де v – питома витрата палива на вироблення тепла на установці, яка заміщується:

$$v = \frac{0,143}{\eta^*} \text{ (т. у. п. / Гкал),} \quad (6.16)$$

$$v = \frac{0,0342}{\eta^*} \text{ (т. у. п. / ГДж),} \quad (6.17)$$

де 0,143; 0,0342 – коефіцієнти еквівалентного перекладу 1 Гкал та 1 ГДж на тону умовного палива;

η^* – коефіцієнт корисної дії установки, яка заміщується, з показниками якої зіставляється ефективність використання ВЕР.

При силовому напрямку використання ВЕР розрахунок економії первинного тепла ведуть за формулою:

$$B = v_e \cdot W, \quad (6.18)$$

де v_e – питома витрата палива на вироблення електроенергії в енергетичній установці або на установці, яка заміщується.

При паливному напрямку застосування ВЕР для розрахунку економії первинного палива застосовують формулу:

$$B = 0,143 \cdot Q_i \cdot \eta_1 / \eta_2 = B_i \cdot \eta_1 / \eta_2, \quad (6.19)$$

де Q_i , B_i – величини використання горючих ВЕР в Гкал / рік та т. у. п. / рік, відповідно;

η_1 , η_2 – коефіцієнти корисної дії агрегату при роботі на горючих ВЕР і того ж агрегату при роботі на первинному паливі, відповідно.

Відзначимо, що співвідношення η_1 , η_2 – значно залежить від фізичних властивостей горючих ВЕР, а для висококалорійних горючих його приймають рівним одиниці.

6.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Розрахункові завдання розподілені за кількома варіантами.

Варіант 1. Потрібно визначити продуктивність котла-утилізатора КУ-50. Утилізується в котлі тепло димових газів, що мають об'ємну швидкість Y ($\text{м}^3 / \text{сек}$) і складаються (об'ємні %): $\text{CO}_2 = x$, $\text{H}_2\text{O} = y$, $\text{O}_2 = z$, $\text{N}_2 = k$. Температура в пароперегрівачі $t_{\text{п}}$ ($^{\circ}\text{C}$), на виході з котла димові гази мають температуру $t_{\text{г}}$ ($^{\circ}\text{C}$), коефіцієнт збереження тепла U (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Вихідні дані

№ п/п	Параметри							
	Y	x	y	z	k	$t_{\text{п}}$	$t_{\text{г}}$	U
1	24	11	9,5	6,5	73	370	200	0,95
2	20	10	10	6,5	73,5	380	210	0,90
3	21	10	10	7	73	390	200	0,85
4	22	12	10	5	73	360	190	0,90

Варіант 2. При виробництві синтетичного каучуку в печі підігріву бутану спалюють газ, що складається з (об'ємні %): $\text{CO} = x$, $\text{H}_2 = y$, $\text{CO}_2 = z$, $\text{CH}_4 = k$, $\text{C}_2\text{H}_6 = n$, $\text{C}_3\text{H}_8 = m$, $\text{C}_4\text{H}_{10} = p$, $\text{C}_4\text{H}_8 = l$. Визначити вид ВЕР, представити схему розрахунку виходу ВЕР, вироблення за рахунок ВЕР й економії палива. Дані для виконання завдання представлені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Вихідні дані

№ п/п	Параметри							
	x	y	z	k	n	m	p	l
5	5,0	53,9	3,2	10,8	10,8	3,2	1,1	12,0
6	5,2	53,7	3,0	11,0	10,6	3,4	1,0	12,1
7	5,0	53,9	3,1	10,9	10,8	3,2	1,2	11,9
8	5,1	53,8	3,2	10,8	10,4	3,6	1,1	12,0

Варіант 3. Визначити можливу економію палива за рахунок ВЕР, що утворюються в печах піролізу вуглеводнів при згорянні x млн $\text{м}^3 / \text{рік}$

газу, ентальпія димових газів у Гкал / м³, а після пароперегрівача з Гкал / м³ (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Вихідні дані

№ п/п	Параметри		
	x	y	z
9	20	1 500	500
10	18	1 600	600
11	15	1 700	700
12	25	1 500	500

Варіант 4. При виробництві синтетичного каучуку в печі підігріву бутану спалюють газ у кількості V (млн м³ / рік). Потрібно встановити вид ВЕР і розрахувати економію палива за рахунок ВЕР, якщо питома витрата палива на установці, яка заміщується, дорівнює в (т. у. п. / Гкал), ентальпія енергоносія на вході та виході установки дорівнює H_1 і H_2 , відповідно. Дані для розрахунків представлені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Вихідні дані

№ п/п	Параметри			
	V	v	ΔH_1	ΔH_2
13	60	0,2	1 050	500
14	70	0,4	1 100	600
15	50	0,2	1 200	650
16	80	0,3	1 150	650

Варіант 5. Потрібно визначити можливе вироблення тепла за рахунок ВЕР печей підігріву бутану у виробництві синтетичного каучуку. Кількість газу, що подається в печі становить V (млн м³ / рік); обсяги повітря, вуглекислого газу, води, азоту відповідно рівні (м³ / м³): x , y , z , k ; температура на виході з печі $t_{п}$ (°C), а з економайзера $t_{Е}$ (°C); коефіцієнти корисної дії печі й економайзера: η_1 , і η_2 , відповідно (табл. 6.5).

Вихідні дані

№ п/п	Параметри								
	V	x	y	z	к	t _п	t _э	η ₁	η ₂
17	40	5,5	0,55	1,4	4,5	400	200	1,35	1,40
18	45	5,3	0,50	1,5	4,5	450	190	1,32	1,38
19	50	5,0	0,55	1,4	4,4	400	200	1,33	1,39
20	55	5,0	0,50	1,5	4,4	400	190	1,40	1,41

Варіант 6. У печі для нагріву граничних вуглеводнів спалюють газ метан – водневої фракції. Визначити вид ВЕР, скласти схему розрахунку виходу ВЕР, вироблення за рахунок ВЕР й економії палива, якщо вироблення теплоти за рахунок ВЕР становить x (Гкал / рік), а питома витрата палива на вироблення тепла на установці, яка заміщується, y (т. у. п. / Гкал). Дані для розрахунків представлені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Вихідні дані

Значення параметрів	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24	№ 25
x	30 000	40 000	50 000	60 000	20 000
y	0,20	0,19	0,18	0,19	0,21

6.3. Довідкові дані та приклади виконання завдань

Котли-утилізатори виробляють водяну пару за рахунок фізичного тепла утилізованих димових газів, побічних і проміжних продуктів технологічних процесів. Залежно від можливостей утилізації певних кількостей димових газів котли-утилізатори класифікуються (тис. м³ / рік): КУ-50, КУ-60-2, КУ-80-3, КУ-100-1, КУ-125. Типова розрахункова температура димових газів на вході в котли-утилізатори 600 – 650 °С. Для розрахунків ентальпії димових газів можуть бути використані дані табл. 6.7.

Ентальпія димових газів

№ п/п	Ентальпія, кДж/ м ³	Температура, °С			
		200	245	600	650
1	ΔH_{CO_2}	361,67	462,0	1 236,76	1 306,0
2	ΔH_{H_2O}	303,47	381,4	964,68	1 058,0
3	ΔH_{O_2}	267,38	337,3	851,64	925,0
4	ΔH_{N_2}	260,60	322,4	805,06	865,0

Приклад 1. Розрахуємо продуктивність котла-утилізатора. Об'ємна швидкість подачі димових газів (V) на вході становить 24 м³ / с, а температура 650 °С. Склад димових газів заданий в об'ємні %: CO₂ = 12,5; H₂O = 10,0; O₂ = 5,5; N₂ = 72. Тиск в пароперегрівачі (P_{Π}) дорівнює 1800 кПа, а температура (t_{Π}) – 375 °С. Коефіцієнт збереження тепла 0,99, температура димових газів на виході з котла-утилізатора 245 °С.

Перш за все, визначимо ентальпії димових газів на вході та виході котла-утилізатора, використовуючи дані табл. 6.7 (значення можуть бути прийняті за результатами апроксимації, в разі відхилення температур від табличних):

на вході (650 °С):

$$\Delta H_{CO_2} = 0,125 \cdot 1,306,0 = 163,25 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{O_2} = 0,055 \cdot 0,055 = 50,875 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{H_2O} = 0,1 \cdot 1058 = 105,8 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{N_2} = 0,72 \cdot 865 = 622,8 \text{ (кДж / м}^3\text{)};$$

на виході (245 °С):

$$\Delta H_{CO_2} = 0,125 \cdot 462 = 57,75 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{O_2} = 0,055 \cdot 337,3 = 18,55 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{H_2O} = 0,1 \cdot 381,4 = 38,14 \text{ (кДж / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_{N_2} = 0,72 \cdot 322,4 = 232,13 \text{ (кДж / м}^3\text{)}.$$

Знаючи сумарні ентальпії на вході та виході, можна визначити кількість теплоти, що віддається димовими газами в котлі-утилізаторі (Q):

$$Q = (\sum \Delta H_{\text{вх}} - \sum \Delta H_{\text{вих}}) \cdot V = \\ = [(163,25 + 50,875 + 105,8 + 622,8) - (57,75 + 18,55 + 38,14 + 232,13)] \cdot 24 = \\ = 14\,307,7 \text{ (кВт)}.$$

Довідка 1:

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = 421,0 \text{ кДж / кг при } 100 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \Delta H_{\text{перегріта пара}} = 3\,198,0 \text{ кДж / кг при } 376 \text{ }^\circ\text{C};$$

1 кг води котла-утилізатора здатен сприйняти:

$$Q' = 3\,198,0 - 421,0 = 2\,777 \text{ (кДж / кг)},$$

З огляду на дані довідки можна визначити паропродуктивність котла-утилізатора (P):

$$P = Q / Q' = 14\,307 / 2\,777 = 5,15 \text{ (кг / с)}.$$

Приклад 2. У печах спалюють газ метан-водневої фракції наступного складу (об'ємні %): $\text{H}_2 = 22,7$; $\text{CH}_4 = 69,8$; $\text{C}_2\text{H}_4 = 2,5$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,6$; $\text{C}_3\text{H}_6 = 2,7$; $\text{C}_4\text{H}_8 = 1,7$. Потрібно визначити можливу економію палива за рахунок тепла димових газів, якщо температура їх на виході з печей $400 \text{ }^\circ\text{C}$, коефіцієнт надлишку повітря 1,3, а температура газів на виході з котла-утилізатора $200 \text{ }^\circ\text{C}$, коефіцієнт надлишку повітря 1,4. Витрата палива на замісній установці 0,185 т. у. п. / Гкал, вологовміст газоподібного палива 19,4 %.

Довідка 2. Кількість повітря (V_B), необхідна для згоряння 1 м^3 газу, а також обсяги газоподібних компонентів у продуктах згоряння визначають за емпіричними формулами:

$$V_B = 0,0476 \cdot (0,5 \text{ CO} + 0,5 \text{ H}_2 + 1,5 \text{ H}_2\text{S} + 2,0 \text{ CH}_4) + \\ + (m + n / 4) \cdot (\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2); \quad (6.20)$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{CH}_4 + \sum m \cdot \text{C}_m\text{H}_n), \quad (6.21)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (H_2 + 2 CH_4 + \sum^n /_2 \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d) + 0,0161 \cdot V_B, \quad (6.22)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_B + 0,01 \cdot v_{N_2}, \quad (6.23)$$

де d – поправочний коефіцієнт ($d = 19,4$);

v_{N_2} – вміст азоту в повітрі ($\sim 79\%$);

m, n – стехіометричні коефіцієнти вуглеводневих компонентів.

З огляду на довідкові дані розраховуємо:

$$V_B = 0,0476 \cdot (0 + 0,5 \cdot 22,7 + 0 + 2 \cdot 69,8 + 3 \cdot 2,5 + 3,5 \cdot 0,6 + 4,5 \cdot 2,7 + 6 \cdot 1,7 - 0) = 8,7 \text{ (м}^3/\text{м}^3\text{)},$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (0 + 0 + 0 + 69,8 + 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 0,6 + 3 \cdot 2,7 + 4 \cdot 1,7) = 0,9 \text{ (м}^3/\text{м}^3\text{)},$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (22,7 + 2 \cdot 69,8 + 2 \cdot 2,5 + 3 \cdot 0,6 + 3 \cdot 2,7 + 4 \cdot 1,7 + 0,124 \cdot 19,4) + 0,0161 \cdot 8,7 = 2,0 \text{ (м}^3/\text{м}^3\text{)},$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 8,7 + 0,01 \cdot 79 = 6,87 \text{ (м}^3/\text{м}^3\text{)}.$$

Довідка 3. Ентальпія газів, що складаються з різних газоподібних продуктів, може визначатися за правилом адитивності – як сума добутоків ентальпій індивідуальних продуктів на їх об'ємну частку в складі газу.

Відповідно до довідки 3 розраховуємо ентальпії газів при 400 та 200 °С:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= (C_{CO_2} \cdot V_{CO_2} + C_{H_2O} \cdot V_{H_2O} + C_{N_2} \cdot V_{N_2} + C_B \cdot (\alpha - 1) \cdot V_B) \cdot t = \\ &= (0,463 \cdot 0,9 + 0,374 \cdot 2,0 + 0,314 \cdot 6,87 + 0,324 \cdot 0,3 \cdot 8,7) \cdot 400 = \\ &= 1\,667 \text{ (ккал / м}^3\text{)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= (0,129 \cdot 0,9 + 0,364 \cdot 2,0 + 0,311 \cdot 6,87 + 0,318 \cdot 0,4 \cdot 8,7) \cdot 200 = \\ &= 871 \text{ (ккал/м}^3\text{)}. \end{aligned}$$

При розрахунку використані довідкові дані для теплоємностей компонентів газів за відповідних температур (C_{CO_2} , C_{H_2O} , C_{N_2} , C_B).

Використовуючи (6.10) і приймаючи значення $\beta = 1$, $\varepsilon = 0,15$, визначимо вироблення пари в котлі-утилізаторі:

$$Q_m = 60 \cdot 10^6 \cdot (1\,667 - 871) \cdot 0,85 \cdot 10^{-6} = 40\,600 \text{ (Гкал / рік)}.$$

При повному використанні утилізаційної пари споживачами можна розрахувати економію палива за формулою (6.11):

$$B = 0,185 \cdot 40\,600 \cdot 1 = 7510 \text{ (т. у. п. / рік)}.$$

Приклад 3. Потрібно розрахувати можливе вироблення тепла за рахунок газів, витрата яких 57 млн м³ / рік і склад (об'ємні %): CO = 5,6; H₂ = 53,3; CO₂ = 3,2; CH₄ = 10,8; C₂H₆ = 10,8; C₃H₈ = 3,2; C₄H₁₀ = 1,1; C₄H₈ = 12,0. Теплота згоряння (нижня) такого газу 5 125 ккал / м³, на виході має температуру 400 °С, α = 1,3. Необхідно також визначити можливу економію палива при використанні виробленого тепла на 80 %, якщо температура газів на виході з економайзерів – пристроїв для підігріву води дорівнює 190 °С, коефіцієнт надлишку повітря α₂ = 1,35, витрата палива на установці, яка заміщується 0,18 т. у. п. / Гкал.

З огляду на довідку 2 спочатку визначаємо:

$$V_B = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot 6,6 + 0,5 \cdot 53,3 + 1,5 \cdot 0 + 2 \cdot 10,8 + (2 + 6 / 4) \cdot 10,8 + (3 + 8 / 4) \cdot 3,2 + (4 + 10 / 4) \cdot 1,1 - 0) = 5,3 \text{ (м}^3 \text{ / м}^3\text{)},$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (3,2 + 5,6 + 0 + 10,8 + 2 \cdot 10,8 \cdot 3 / 2 + 2 \cdot 1,1 + 0,124 \cdot 19) + 0,016 \cdot 5,3 = 1,147 \text{ (м}^3 \text{ / м}^3\text{)},$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 5,3 + 12 / 100 = 4,3 \text{ (м}^3 \text{ / м}^3\text{)}.$$

Знаходимо довідкові дані для теплоємностей газоподібних компонентів для 40 °С та 190 °С і розраховуємо їх ентальпії, врахувавши довідку 3:

$$\Delta H_1 = (0,463 \cdot 0,552 + 0,374 \cdot 1,0147 + 0,314 \cdot 4,8 + 0,324 \cdot 0,3 \cdot 5,3) \cdot 400 = 1\,000,4 \text{ (ккал / м}^3\text{)},$$

$$\Delta H_2 = (0,429 \cdot 0,552 + 0,364 \cdot 1,0147 + 0,314 \cdot 4,3 + 0,318 \cdot 0,3 \cdot 5,3) \cdot 400 = 481,65 \text{ (ккал / м}^3\text{)}.$$

Тепер можна визначити вироблення тепла в економайзері за формулою (6.10):

$$Q_m = 57 \cdot 10^6 \cdot (1\,000,4 - 481,65) \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 10^{-6} = 25\,133,4 \text{ (Гкал / рік)}.$$

Економію палива з урахуванням 80 % споживання визначаємо за формулою (8.14):

$$V_M = 0,180 \cdot 25\,133,4 \cdot 0,80 = 3\,619,2 \text{ (т. у. п. / рік).}$$

6.4. Запитання для самодіагностики

1. Що мають на увазі під вторинними енергетичними ресурсами?
2. Які групи ВЕР існують?
3. Перерахуйте напрямки економії паливно-енергетичних ресурсів за рахунок застосування ВЕР.
4. Що таке вихід ВЕР?
5. Що таке вироблення за рахунок ВЕР?
6. Що таке коефіцієнт утилізації?
7. У чому відмінність теоретично можливого, планованого та фактичного вироблення ВЕР?
8. Що мається на увазі під використанням ВЕР?
9. Для чого призначені котли-утилізатори і що означають числа в їх типах?
10. Для чого призначені економайзери?

Тема 6. Роль науки в розвитку технологічних систем

Завдання 7. Основи технологій переробки палив

7.1. Загальні теоретичні положення

У сучасних галузях промисловості відзначається стійка тенденція в застосуванні найбільш ефективних видів палив. Основне призначення будь-якого виду палива – виділення енергії в результаті фізико-хімічних перетворень. Відповідно, ефективність палив оцінюється за техніко-економічними показниками, серед яких найважливішим є питоме виділення енергії на одиницю маси палива. Традиційні види палив мають у своєму складі компоненти, які з хімічної точки зору є відновниками, здатними окислюватися з виділенням тепла окислювально-відновної взаємодії. Найбільш характерним відновником є вуглець, а окислювачем – кисень,

у тому числі кисень повітря. У спеціальних видах палива окремо виділяють паливо й окислювач, взаємодія між якими призводить до горіння. Ядерні палива здатні до поділу атомів речовини при взаємодії з елементарними частинками, що супроводжується значним виділенням енергії в ході реакції трансмутації.

Багато видів палив мають природне походження, їх видобуток і застосування супроводжували всі етапи еволюції людини. Однак природні запаси досить високочистого і висококалорійного палива виснажуються, паливо перестає відповідати запитам окремих виробництв. Відповідно, необхідними стають процеси переробки твердого, рідкого і газоподібного палив за допомогою сучасних технологій, у яких найбільш значима роль термічних і каталітичних процесів.

Термічна або пірогенна (від давньогрецького – вогонь) переробка палив – це процес, який ведуть за високої температури. Такі процеси поділяються на три групи:

1) Процеси піролізу (нагрівання без доступу повітря). У результаті піролізу складні горючі речовини розкладаються на тверді (напівкокс, деревне вугілля, кокс) та леткі речовини (суміш парів і газів). Іноді виділяють фізичні та хімічні перетворення при піролізі. До фізичних відносять, наприклад, процеси перегонки сирої нафти в ректифікаційних колонах з утворенням певних фракцій, що розрізняються інтервалом температур кипіння. Хімічні високотемпературні перетворення при піролізі носять в основному деструктивний характер, більш складні хімічні речовини розкладаються на більш прості, часто з утворенням горючих газів. Температура проведення піролізу відрізняється, зокрема, суха перегонка деревини здійснюється при 400 – 550 °С, напівкокс з бурого вугілля отримують при 500 – 800 °С, кам'яне вугілля коксуєть при 950 – 1 100 °С. Серед методів переробки нафти і нафтопродуктів найбільш поширені: первинна фракційна перегонка; піроліз при 650 – 750 °С для отримання ароматичних вуглеводнів, піроліз-газу (містить, в основному, етилен і пропілен); термічний крекінг мазуту з утворенням бензинів, дизельних палив, крекінг-газу; термічний реформінг з утворенням високооктанових бензинів.

2) Процеси газифікації. Часто їх ведуть для переробки твердих порід і палив з низьким вмістом вуглецю, наприклад, сланцевого вугілля. Якщо застосовувати таке паливо без переробки, то воно фактично не горить: вуглецю мало, доступ до нього обмежений через високий вміст баластних речовин – простих і складних оксидів й інших мінералів, які

при підвищених температурах плавляться і ще більш обмежують доступ кисню до вуглецю. Суть процесів у неповному окисненні вуглецю таких малоцінних палив (не до CO_2 , а до CO), що переводить органічну частину цього палива в горючий газ. Газифікацію реалізують найчастіше високо-температурною обробкою повітрям у присутності парів води, рідше: кисень – вода. У продуктах газифікації утворюються, так звані, генераторні гази (головний компонент CO) з досить високою теплотворною здатністю.

3) Процеси гідрування або гідрогенізації. Ці процеси реалізують за рахунок обробки палив газоподібним воднем при високій температурі й тиску з утворенням у продуктах вуглеводнів зі значною часткою кратних зв'язків між атомами вуглецю (подвійних, потрійних) і пароароматичних сполук, тобто дуже енергонасичених компонентів. Такі процеси найбільш складні, їх часто проводять із застосуванням катализаторів й отримують найбільш високозбагачені палива. Проводять їх як для твердих, так і для рідких палив (гідрокрекінг).

Застосування катализаторів дозволяє вести більш глибоко протікають процеси при знижених тиску, температурі, часі. У процесах нафтопереробки застосовують контактні і комплексоутворюючі катализатори. Перші з них (платина, хром, оксид молібдену) знижують активаційний бар'єр за рахунок контакту продукту переробки з катализатором, а другі (синтетичні алюмосилікатні сполуки – цеоліти) – мають розгалужену пористу структуру з порожнинами певного розміру і здатні до комплексоутворення, що змінює напрямок і стадії протікання процесу, тим самим полегшуючи його протікання. На контактних катализаторах легко протікають хімічні взаємодії з відщепленням водню, вмісту ароматичних сполук, що сприятливо для отримання бензинів з високим октановим числом. Комплексоутворюючі катализатори сприяють перерозподілу водню в молекулах і полегшують реакції ізомеризації, що підвищує вихід бензину на 15 – 35 % та веде до підвищення октанового числа на 5 – 10 одиниць в порівнянні з аналогічним продуктом звичайного термічного крекінгу. Тому контактні катализатори частіше застосовують для облагороджування моторних палив при гідроочищенні, каталітичному реформінгу, а комплексоутворюючі найбільше застосовуються при каталітичному крекінгу.

Каталітичному крекінгу піддають солярові та керосинові фракції при $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ та тиску до 0,2 МПа на катализаторі комплексоутворюючого типу. У результаті збільшується концентрація ароматичних вуглеводнів до 16 % (3 % – для бензину термічного крекінгу), що супроводжується зростанням

октанового числа до 78 одиниць. Відповідно, зі збільшенням концентрації ароматичних вуглеводнів знижується концентрація ненасичених вуглеводнів, що підвищує стабільність бензину, його хімічну стійкість, запобігає утворенню смол при зберіганні та застосуванні. Як недолік крекінгу відзначають вміст коксу (до 5 %) і відкладення вуглецю на поверхні каталізатора, що зменшує діаметр пір і каталітичну активність. Для реактивації каталізатора часто застосовують його окислювальну термообробку при 550 – 600 °С для випалювання вуглецю. Разом з тим кокс здатний надавати і позитивний вплив, особливо при його вмісті 8 – 10 %, оскільки інтенсифікується процес перерозподілу водню в молекулах, що призводить до підвищення виходу бензину паралельно зі зменшенням вмісту в ньому ненасичених вуглеводнів. Однак подібний технологічний підхід вимагає значних витрат на реактивацію каталізатора й тепер практично не застосовується. Продуктами каталітичного крекінгу керосино-солярових фракцій є: близько 12 – 15 % газів на основі пропан-пропіленової і бутан-бутадієнової фракцій; до 10 % каталітичного газойлю – кращого дизельного палива; 4 – 5 % нафтококсу; до 70 % бензину з октановим числом 78 одиниць.

Для збільшення октанового числа бензинів застосовують каталітичний реформінг, який ведуть у середовищі водню під тиском із застосуванням каталізаторів контактного типу. Вихід коксу при цьому значно знижується і зменшується кількість сірки в бензині, бо вона взаємодіє з воднем до сірководню, який видаляють з цільового продукту. Існують різні варіанти реформінгу, що відрізняються за значеннями технологічних параметрів, виду каталізатора, методів їх регенерації. Найпоширеніший варіант – платформінг, який указує на тип контактного каталізатора – платина. Для ефективного використання дорогої платини каталізатор наносять на носій за спеціальними технологіями. Часто носієм служать вироби трансропної симетрії (стільникової структури), які в іноземній літературі отримали спеціальну назву – гонікомби. Виготовляють гонікомбів з керамічних матеріалів, частіше корундових, їх стінки пористі та здатні утримувати ультрадисперсні частинки металевої платини. Гонікомби створюють мінімальний аеродинамічний опір і характеризуються малими втратами платини. Типова температура проведення платформінгу – 500 °С, тиск водню варіює залежно від отриманого продукту. Платформінг супроводжується паралельним перебігом багатьох процесів – реакції розщеплення молекул, гідрування, утворення ароматичних вуглеводнів.

Тиск може змінювати механізм протікання окремих з названих видів реакцій, відповідно, при тисках близько 5 МПа отримують бензин з октановим числом 98 одиниць, а при 1,5 МПа – ароматичні вуглеводні. Крім рідких продуктів при платформінгу утворюються газоподібні речовини (5 – 15 %), що містять водень, метан, етан, пропан, бутан, ізобутан. Ці сполуки – дуже цінна сировина для подальших процесів органічного синтезу спиртів, формальдегіду, пропілену, бутадієну, високооктанових присадок до бензинів і т. п. Частина водню, що утворюється, зазвичай направляється на гідроочищення нафтопродуктів від сірки (5 – 7 МПа, 340 – 430 °С) на алюмокобальтмолібденовому каталізаторі. При гідроочищенні з воднем реагує не тільки сірка, але й сполуки, що містять кисень, з утворенням сполук, які легко видаляються – сірководень, аміак, вода. Доцільність поєднання каталітичного риформінгу та гідроочищення обумовлює необхідність будівництва установок з очищення і генерування водню.

7.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Індивідуальні завдання розподілені за кількома варіантами, а необхідні формули, в тому числі емпіричні, представлені в прикладах виконання завдань.

Варіант 1. Перегонкою нафтопродуктів отримали наступні температури відгону окремих фракцій (%): 100 °С – х, 150 °С – у, 185 °С – z, 220 °С – к, 245 °С – І. Потрібно визначити точку кипіння. Значення параметрів представлені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Вихідні дані

№ п/п	Значення параметрів, %				
	х	у	z	к	І
1	10	31	20	20	19
2	11	32	20	20	17
3	12	33	20	20	15

Варіант 2. Визначити молекулярну масу суміші, що складається з бензолу, ізооктану, частки яких становлять х і у, відповідно. Вихідні дані представлені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Вихідні дані

№ п/п	Вміст компонентів суміші, мол. долі	
	x	y
4	0,51	0,49
5	0,50	0,50
6	0,49	0,51

Варіант 3. Суміш органічних речовин складається з (кг): x бензолу, y н-октану і z гептану. Визначити середню молекулярну масу суміші. Вихідні дані представлені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Вихідні дані

№ п/п	Вміст компонентів суміші, кг		
	x	y	z
7	1 000	2 600	1 400
8	1 200	2 400	1 200
9	1 400	2 600	1 200

Варіант 4. При веденні крекінгу керосино-газойлівої фракції в киплячому шарі каталізатора досягнута глибина перетворення x, константа швидкості процесу y. Визначити вихід бензину. Вихідні дані представлені в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Вихідні дані

№ п/п	Параметри процесу	
	x	y
10	0,59	0,30
11	0,57	0,30
12	0,55	0,30

Варіант 5. Вакуумний газойль переробляється на установці каталітичного крекінгу з чотирисекційним реактором східчасто-протivotочного типу при 500 °С. Макрокінетичні коефіцієнти для чотирьох секцій k' і k'' рівні x і y , а глибина перетворення z . Потрібно визначити виходи продуктів. Вихідні дані представлені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Вихідні дані

№ п/п	Параметри процесу, відн. од.		
	x	y	z
13	1,40	0,60	0,71
14	1,45	0,70	0,72
15	1,40	0,65	0,70

Варіант 6. У регенераторі ведуть відновлення каталітичної активності алюмосилікатного каталізатора для проведення крекінгу в рухомому шарі каталізатора. Визначити масу каталізатора, яка зазнає регенерації, якщо насипна щільність каталізатора x т / м³, інтенсивність вигорання коксу y кг / м³ шару на годину, допустимий вміст коксу в каталізаторі z %, а вихід коксу k %. Вихідні дані представлені в табл. 7.6.

Таблиця 7.6

Вихідні дані

№ п/п	Параметри процесу			
	x	y	z	k
16	0,72	15	2,0	5,0
17	0,75	15	2,2	5,5
18	0,70	15	2,0	5,0

Варіант 7. Суміш ароматичних вуглеводнів складається з x % базового бензину з октановим числом y одиниць і z % вуглеводнів з октановим числом k одиниць. Визначити октанове число суміші. Вихідні дані представлені в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Вихідні дані

№ п/п	Параметри процесу			
	x	y	z	k
19	75	93	25	85
20	70	95	30	85
21	80	92	20	85

Варіант 8. Бензин А-72 отримують змішуванням базового бензину прямої перегонки з октановим числом x одиниць і бензину каталітичного крекінгу з октановим числом y одиниць. Розрахувати склад бензину А-72. Дані для розрахунків узяти з табл. 7.8.

Таблиця 7.8

Вихідні дані

№ п/п	Параметри компонентів суміші	
	x	y
22	60	80
23	58	80
24	62	80

Варіант 9. Суміш вугілля піддають переробці на кокс. Визначити вихід коксу з робочої шихти, якщо вихід летючих на суху масу становить x %, вологість шихти y %, вихід летких речовин валового коксу на суху зольну масу z %. Дані для розрахунків представлені в табл. 7.9.

Таблиця 7.9

Вихідні дані

№ п/п	Параметри процесу, %		
	x	y	z
25	27	9	1,1
26	28	8,5	1,0
27	27	8,0	1,1

7.3. Приклади виконання завдання

Приклад 1. У водонефтяній емульсії об'ємна частка води становить 50 %, молярна маса нафти 200 кг / моль, щільність нафти 850 кг / м³, щільність води 1 000 кг / м³. Потрібно визначити молярну і масову частки нафти в емульсії.

Довідка 1. Склад суміші характеризують кількістю компонентів і їх співвідношенням у суміші. Співвідношення компонентів може бути визначено в масових, об'ємних і молярних частках. Сума відповідних часток усіх компонентів суміші дорівнює одиниці (або 100 %). Масова (ω), молярна (N) і об'ємна (V) частка компонента суміші визначається:

$$\omega = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}; \quad N = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}; \quad V = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^k v_i}, \quad (7.1)$$

де m_i , n_i , v_i – маса, число молей та обсяг i -го компонента суміші.

Число молей (n_i) визначається з урахуванням молярної маси i -го компонента:

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}, \quad (7.2)$$

де M_i – молярна маса i -го компонента.

Маса компонента може бути легко виражена через щільність й обсяг цього компонента, що дає вираз для визначення мольної частки у вигляді:

$$N = (\rho_i \cdot V_i / M_i) \cdot [1 / \sum_{i=1}^k \rho_i \cdot V_i / M_i]. \quad (7.3)$$

Для визначення об'ємної частки нафти в емульсії врахуємо, що сума часток суміші дорівнює 1:

$$v_i = 1 - 0,5 = 0,5$$

Застосовуючи формулу (7.3) визначаємо молярну частку нафти в емульсії (N_H):

$N_H = (850 \cdot 0,5 / 200) \cdot [1 / (850 \cdot 0,5 / 200 + 1\,000 \cdot 0,5 / 18)] = 0,071$,
де 18 – молярна маса води.

Масову частку нафти (ω_H) в емульсії визначимо за відповідним рівнянням (7.1):

$$\omega_H = 850 \cdot 0,5 / (850 \cdot 0,5 + 1\,000 \cdot 0,5) = 0,46.$$

Приклад 2. Нафтопродукт має межі википання 82 – 110 °С, щільність при 20 °С – 0,760 9 г / см³, вміст фракцій (молярні долі): (85 – 90 °С) – 0,21; (90 – 95 °С) – 0,10; (95 – 100 °С) – 0,35; (100 – 105 °С) – 0,23; (105 – 110 °С) – 0,11. Потрібно визначити молярну масу цього нафтопродукту.

Довідка 2. Молярна маса нафтопродуктів є усередненою й умовною величиною. Однак, ця величина є важливою характеристикою фізико-хімічних властивостей нафти і нафтопродуктів. Між молярною масою і температурою кипіння нафтових фракцій емпірично встановлено взаємозв'язок: підвищення молекулярної маси (M) починається зі зростанням температури кипіння (t). Вченим нафтохіміком Б. М. Воїновим запропонована відповідна формула:

$$M = a + bt + ct^2, \quad (7.4)$$

де t – середня температура кипіння фракції;
 a, b, c – емпіричні коефіцієнти.

Для парафінових (граничних) вуглеводнів значення коефіцієнтів у (7.4): $a = 60$; $b = 0,3$; $c = 0,001$. Середньомолекулярну масу суміші вуглеводнів можна також визначити, якщо відомі молярні частки (або маси) та молекулярні маси компонентів:

$$M_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot M_i; \quad M_{\text{сер}} = \sum m_i / \sum (m_i / M_i), \quad (7.5)$$

де N_i – молярні частки компонентів суміші;
 M_i – молекулярні маси компонентів суміші;
 m_i – маси компонентів суміші.

Для виконання завдання спочатку слід розрахувати середню температуру кипіння кожної фракції:

$$t_1 = (85 + 90) / 2 = 87,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 92,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 97,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = 102,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_5 = 107,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Відповідно, середньомолекулярна температура кипіння може бути визначена з урахуванням вмісту кожної фракції за адитивною формулою:

$$t = 0,21^\circ \cdot 87,5 + 0,1^\circ \cdot 92,5 + 0,35^\circ \cdot 97,5 + 0,23^\circ \cdot 102,5 + 0,11^\circ \cdot 107,5 = 97,2 \text{ } (^\circ\text{C}).$$

Тепер можна застосувати формулу Б. М. Воїнова:

$$M = 60 + 0,3^\circ \cdot 97,2 + 0,001^\circ \cdot 97,2^2 = 98,6.$$

Приклад 3. Розгонка нафтопродукту за фракціями дала такі температури кипіння: 10 % – 140 °С; 30 % – 175 °С; 50 % – 230 °С; 70 % – 240 °С; 90 % – 250 °С. Потрібно визначити точку кипіння нафтопродукту.

Довідка 3. Нафта та нафтопродукти є складною сумішшю вуглеводнів та їх сполук, яка є індивідуальною хімічною сполукою. Тому різні фракції нафти містять у своєму складі кілька сполук, відповідно, википають у різних температурних інтервалах. Для характеристик окремих фракцій застосовують середню температуру кипіння (середньомасова, середньооб'ємна, середньомолекулярна):

$$t_{\text{сер.мас.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad (7.6)$$

$$t_{\text{сер.об.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (7.7)$$

$$t_{\text{сер. мол.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n N_i}, \quad (7.8)$$

де G_i – маси (або мас. %) окремих фракцій;

V_i – об'єми (або об'ємні %) окремих фракцій;

N_i – число молей (або мол. %) окремих фракцій;

t_i – температура кипіння фракцій.

Розгін за фракціями здійснюється для встановлення температур відгону з нафтопродуктів 10, 30, 50, 70 і 90 % цих продуктів. Традиційно користуються об'ємними %. Тоді може бути визначено середньоарифметичне значення $t_{(сер.об.)}$, яке називають точкою кипіння:

$$\bar{t}_{сер.об.} = (t_{10\%} + t_{30\%} + t_{50\%} + t_{70\%} + t_{90\%}) / 5. \quad (7.9)$$

Рішення завдання зводиться до застосування формули (7.9):

$$\bar{t}_{сер.об.} = (140 + 175 + 230 + 240 + 250) / 5 = 207 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Приклад 4. Каталітичний крекінг проводять у киплячому шарі катализатора. Вихідна керосино-газойлива фракція має при 20 °С щільність 0,870 г / м³, глибина перетворення сировини становить 0,60, температура процесу 468 °С, константа швидкості процесу 0,28. Потрібно визначити вихід бензину в цьому процесі.

Довідка 4. Взаємозв'язок ступеня перетворення (глибини) нафтопродуктів з константою швидкості процесу каталітичного крекінгу і з виходом бензину встановлена в експериментах Г. М. Панченкова та його співробітників:

$$x_6 = x \cdot (1 - x) / [1 + x \cdot (k - 1)], \quad (7.10)$$

де x_6 – вихід бензину;

x – глибина перетворення сировини;

k – константа швидкості процесу.

Рішення завдання зводиться до застосування формули (7.10):

$$x_6 = 0,6 (1 - 0,6) / [1 + 0,6 (0,28 - 1)] = 0,24 / 0,568 = 0,4225.$$

Таким чином, вихід бензину в зазначеному процесі становить 42,25 %.

Приклад 5. Реактор східчасто-протivotочного типу має шість секцій та експлуатується при 475 °С, здійснюючи каталітичний крекінг вакуумного газойлю. Потрібно визначити вихід легкого газойлю ($X_{лг}$), бензину (X_6), коксу ($X_к$) й газу ($X_г$), якщо глибина перетворення 65 мас. %,

макрокінетичні коефіцієнти (K' , K'') процесу для шести секцій апарату рівні 1,25 і 0,6, відповідно.

Довідка 5. Для установок каталітичного крекінгу з реактором схід-часто-противоточного типу вченими Д. І. Орочко і Г. І. Черніковою встановлена залежність виходу окремих продуктів від глибини перетворення газойлю:

$$X_{\text{ЛГ}} = [(1 - X)^{K'} - (1 - X)] / (1 - K'), \quad (7.11)$$

$$X_{\text{ЛГ}} = K' \cdot [(1 - X)^{K''} - (1 - X)^{K'}] / [(1 - K') \cdot (K' - K'')] + \\ + K' \cdot [(1 - X) - (1 - X)^{K'}] / [(1 - K') \cdot (1 - K'')], \quad (7.12)$$

$$C_K = 0,115 \cdot X^3, \quad (7.13)$$

$$X_{\Gamma} = X - X_{\text{ЛГ}} - X_{\text{Б}} - X_{\text{К}}, \quad (7.14)$$

де X – глибина перетворення газойлів (негативні різниці беруть зі знаком "+").

Виконання завдання передбачає розрахунок виходу відповідних продуктів згідно з формулами (7.11) – (7.14):

$$X_{\text{ЛГ}} = [(1 - 0,65)^{1,25} - (1 - 0,65)] / (1 - 0,65) = 0,328,$$

$$X_{\text{Б}} = 1,25 \cdot [(1 - 0,65)^{0,6} - 1 - 0,65] / [(1 - 1,25) \cdot (1,25 - 0,6)] + \\ + 1,25 \cdot [1 - 1,25] \cdot (1 - 0,6) = 0,25,$$

$$X_{\text{К}} = 0,115 \cdot (0,65)^3 = 0,032,$$

$$X_{\Gamma} = 0,65 - 0,328 - 0,25 - 0,032 = 0,04.$$

Приклад 6. Газойль переробляють в установці каталітичного крекінгу на рухомому шарі каталізатора. Продуктивність установки 1 000 т / добу газойлю. Потрібно визначити масу каталізатора (G_M), час перебування частинок у регенераторі для відновлення каталітичної активності (τ), якщо насипна щільність каталізатора (ρ_H) 0,7 т / м³, інтенсивність випалювання коксу (K) 15 кг / м³ шару в годину, допустиме відкладення коксу на відпрацьованому каталізаторі (X'_K) 2 %, вихід коксу (X_K) 5,9 %.

Довідка 6. Перш за все, враховують матеріальний баланс, що зберігається в процесі:

$$G_{\text{КЦ}} \cdot X'_K = G_C \cdot X_K, \quad (7.15)$$

де $G_{\text{КЦ}}$ – питома маса циркулюючого каталізатора;

G_C – питома маса речовини, що надходить у регенератор.

Застосовуючи (7.15), визначимо $G_{\text{КЦ}}$:

$$G_{\text{КЦ}} = 1\,000 \cdot 5,9 / 2 = 2\,950 \text{ т / добу або } 123\,000 \text{ кг / год.}$$

Об'єм регенератора (V_p) знаходять за виразом:

$$V_p = (G_C \cdot X_K) / (100 K), \quad (7.16)$$

Підставляючи в (7.16) задані параметри, отримаємо:

$$V_p = 1\,000 \cdot 1\,000 \cdot 0,059 / (100 \cdot 15) = 164 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Знаючи насипну щільність каталізатора і з огляду на повне завантаження обсягу регенератора, можна визначити масу каталізатора:

$$G_M = V_p \cdot \rho_n = 164 \cdot 0,7 = 114,8 \text{ (т)}.$$

Час перебування частинок каталізатора в регенераторі визначають за формулою:

$$\tau = G_M \cdot 60 / G_{\text{КЦ}}. \quad (7.17)$$

Підставляючи знайдене значення G_M в (7.17) отримаємо:

$$\tau = 114\,800 \cdot 60 / 123\,000 = 56 \text{ (хв)}$$

Приклад 7. Суміш з 80 % базового бензину з октановим числом 92,5 одиниці і 20 % алкілбензолу має октанове число 93,8 одиниці. Потрібно визначити октанове число алкілбензолу.

Довідка 7. Визначення октанового числа для вуглеводневих сумішей базується на правилі змішування, яке є наслідком визнання адитивності властивостей суміші залежно від властивостей окремих компонентів з урахуванням їх змісту в суміші.

Згідно з правилом змішування для умов завдання можна записати:

$$80 \cdot 92,5 + 20 \cdot x = 100 \cdot 93,8,$$

де x – октанове число алкілбензолу.

$$X = (9380 - 80 \cdot 92,5) / 20 = 99.$$

Приклад 8. Шихта для приготування брикетів містить дроблену суміш вугілля різних типів і піддається переробці на кокс. У камеру коксування завантажують 1 000 кг робочої шихти, що містить вологу (W) 8,5 %. Вихід летючих речовин валового коксу на суху зольну масу (V_k^0) становить 1 %; різниця на вихід коксу, отриманого у виробничих умовах і при визначенні летючих речовин в лабораторних умовах (a), становить 3 %; вихід летючих речовин шихти на суху масу ($V_{ш}^0$) дорівнює 26 %. Потрібно визначити кількість сухої шихти і вихід валового коксу.

Масу сухої шихти можна визначити, бо відомо вміст у ній води:

$$G_c = G_p \cdot (100 - W) / 100 = 1\,000 (100 - 8,5) / 100 = 915 \text{ (кг)}.$$

Довідка 8. Валовим коксом вважають загальну кількість крупного коксу, коксового горішка, коксового дріб'язку і коксового шламу з веж гасіння. Вихід валового коксу визначають з урахуванням значення "а", яке є, по суті, похибкою:

$$G_k^0 = 100 \cdot (100 - V_{ш}^0) \cdot (100 - V_k^0) + a. \quad (7.18)$$

Вихід коксу на робочу шихту (G_k^p) визначають за формулою:

$$G_k^p = G_k^0 \cdot (100 - W) / 100. \quad (7.19)$$

Визначення виходу валового коксу виконуємо за формулою (7.18):

$$G_k^o = 100 (100 - 26) / (100 - 1) + 3 = 77,7 (\%).$$

З урахуванням отриманого значення G_k^o визначаємо вихід коксу на робочу шихту (G_k^p):

$$G_k^p = 77,7 (100 - 8,5) / 100 = 71,1 (\%).$$

7.4. Запитання для самодіагностики

1. Що характеризує октанове число?
2. Які хімічні сполуки є стандартними при визначенні октанового числа бензинів?
3. Назвіть головне призначення палив?
4. З якою метою здійснюють переробку палив?
5. Які групи термічних процесів переробки палив виділяють?
6. Що таке піроліз?
7. Які методи переробки нафти й нафтопродуктів найбільш поширені?
8. З якою метою здійснюють газифікацію палив?
9. Що є головним компонентом генераторного газу?
10. З якою метою проводять гідрування палив?
11. Які процеси найбільш характерні при крекінгу нафтопродуктів на контактних і на комплексоутворюючих каталізаторах?
12. Для отримання яких продуктів застосовують платформинг і за яких технологічних параметрах?
13. Яким недоліком відрізняється каталітичний крекінг солярових і керасинових фракцій?
14. Який основний метод регенерації комплексоутворюючих каталізаторів застосовують?
15. Як забезпечується очищення нафтопродуктів від сірки при гідруванні?

Тема 7. Пріоритетні напрями технологічного розвитку

Завдання 8. Основи хімічної технології органічних волокон

8.1. Загальні теоретичні відомості

Волокном називають тонкі гнучкі нитки, які отримують різними методами формування розплавів органічних полімерів або їх вузьких концентрованих розчинів. Для формування довгих волокон часто застосовують метод екструзії (продавлювання) через фільтри (спеціальні пристосування з каліброваними отворами). Короткі волокна частіше отримують методами роздування і центрифугування розплавів або розчинів органічних полімерів. Органічні волокна ділять на штучні, одержувані хімічною переробкою природних матеріалів (целюлоза, білок та інші), а також синтетичні, що виготовляються переробкою спеціально синтезованих речовин (полімеризація та поліконденсація мономерів у полімери, золь-гель процес та інші).

На теперішній час розроблено безліч складів і технологій отримання штучних і синтетичних волокон. Віскозне волокно є одним з видів штучного волокна, і технологія його отримання включає ряд стадій. Спочатку з целюлози отримують лужну целюлозу шляхом обробки 20 % розчином NaOH (реакція мерсеризації). Наступні стадії передбачають віджимання, подрібнення і переддозрівання (окислювальна деструкція лужної целюлози). Потім слідує стадія ксантогенирування – лужну целюлозу піддають реакції етерифікації шляхом обробки сірчавим ангідридом. Власне, водний розчин ксантогената целюлози (дитивугільний ефір) або продукт його розчинення в розбавленому розчині NaOH – називають віскозою. Відповідно, до складу віскози входить α -целюлоза і NaOH. Подальші стадії передбачають змішування віскози з розчинниками, коригування в'язкості, формування й обробку віскози. Формування віскози передбачає занурення окремих ниток в осаджувальну ванну, де реалізується наступна обробка – промивка водою, розчинами сульфату натрію та гідроксиду натрію. Надалі проводять сушку волокна до залишкової вологості близько 12 %.

Іншим видом штучних волокон є ацетатне волокно, яке зазвичай виробляють або з триацетату або з часткового омилення ацетату целюлози

(кількість ацетильних груп до 5 %). Ацетатні волокна мають низькі значення міцності на розрив, що обмежує галузі їх сучасного застосування в технічному призначенні. Технологічний процес ацетатних волокон включає стадії розчинення вихідної сировини в ацетоні або метіленхлориді в присутності спеціальних добавок (етиленгліколь, поліакрилати, фталати, барвники, діоксид титану, відбілювачі). Розчин зазвичай має концентрацію ацетату целюлози 24 – 28 %, його фільтрують, дегазують відстоюванням і формують. Формування ниток проводять у гарячому повітрі – нитки, що вийшли, вловлюють і намотують на приймальні пристрої зі швидкістю 500 – 700 обертів за хвилину. Потім нитки обробляють композиціями на основі мінеральних масел, поверхнево-активних речовин й антистатиків. Після стадії "замаслювання" нитки піддають суканню та перемотуванню.

Синтетичні поліамідні волокна отримують за найбільш поширеним технологічним процесом у вигляді капрону з капролактаму та у вигляді солі АГ (сіль адипінової кислоти й гексаметилендіаміну). Вихідний розплав в обох випадках складається з поліамідних полімерів, з яких виробляють текстильні нитки малої лінійної щільності та кордні нитки з високою лінійною щільністю. Технологічні процеси мають подібні стадії. Вихідний мономер – капролактаму, а в іншому випадку – сіль АГ, розплавляють або розчиняють у гарячій воді, відповідно. Після фільтрації здійснюють полімеризацію в середовищі інертного газу, коригують в'язкість полімеру та формують у воду. Отримані жилки або стрічки подрібнюють, промивають гарячою водою від залишкових мономерів й олігомерів, сушать. Отриману крихту формують шляхом продавлювання її розплаву через шар кварцового піску в фільтри. Охолоджені нитки намотують на бобіни, шпулі. На крутильно-витяжних машинах виробляють за кімнатної температури текстильні нитки, а за підвищеної температури – кордні нитки. Для додавання необхідних властивостей нитки піддають термофіксації.

Поширеним видом синтетичних волокон є поліефірні, які отримують з поліетіленглікотерефталату або з його сополімерів з ізофталевої та інших дікарбонових кислот. Технологічними стадіями виробництва є: синтез полімеру, формування й обробка готового волокна. Синтез полімеру проводять з попередньо розчиненого в етиленгліколі іметилтерефталату, який піддають переетерифікуванню, а отриманий діетіленглюкольтерефталат піддають поліконденсації з утворенням поліефірного полімеру з необхідною в'язкістю. Полімер формують у стрічки, жилки, потім ріжуть і сушать гранули. Формування волокна (лавсан) та його обробка подібна як для поліамідних волокон.

Поліакролонитрилльні волокна також є поширеними синтетичними волокнами, які часто називають нитрон. Їх отримують з поліакрилонитрилу або сополімерів акронитрилу. Формування може реалізовуватися по сухому способу, як для ацетатних волокон, а також мокрим способом з двома варіантами приготування прядильного розчину: розчинення полімеру в розчиннику або полімеризація мономерів, сополімерів у розчиннику (диметилформамід, диметилсульфоксид). Прядильні розчини після зневоднення, що містять 15 – 20 % полімеру, формують, потім витягають у пластичному стані у ванні при 97 °С. Така операція надає додаткову міцність волокна. Обробку забезпечують промиванням водою, сушінням й усадкою для попередження подальшого укорочення волокон. Після крутіння та перемотування проводять термофіксацією волокон високої якості.

Виробництво таких синтетичних волокон, як полівінілспіртових, передбачає варіанти складу прядильного розчину залежно від обраного методу формування. Сухий спосіб реалізується при складі розчину 40 – 50 % полівінілового спирту, 40 – 45 % води та 10 – 15 % етанолу. При мокрому способі застосовують 12 – 18 % розчин полівінілового спирту у воді та формування ведуть у ванну. Осаджувачами в цьому варіанті технології служать ацетон, етанол, розчини солей (сульфіт натрію, сульфід амонію). Швидкість формування волокон 10 – 12 м / хв. Після формування волокно сушать, витягають і піддають термофіксації (200 – 210 °С протягом 2 – 5 хвилин). Ці волокна застосовують для виготовлення текстильних ниток, рідше – для виробництва транспортерних стрічок, автопокришок.

Технологічні розрахунки у виробництві органічних волокон різного виду можуть мати загальний характер (визначення лінійної щільності ниток, міцності та зусиль при витягуванні, площі поперечного перерізу, умовного діаметра і т. п.), а також конкретизований щодо певного волокна. Характерним у таких розрахунках є застосування спеціальної та вузько-спеціалізованої для текстильної промисловості одиниці виміру: текс (T_m). Це одиниця виміру лінійної щільності волокна в 1 г при його довжині 1 000 м:

$$T_m = 1\,000\text{ м} / L, \quad (8.1)$$

де m – маса волокна, г;

L – довжина волокна, м.

Лінійна щільність побічно відображає товщину волокна.

Площу поперечного перерізу волокон (F) розраховують за формулою:

$$F = 10^6 \cdot T_m / \rho \text{ (мкм)}^2, \quad (8.2)$$

де ρ – об'ємна щільність матеріалу волокон, г / м³.

Для багатьох матеріалів волокон об'ємна щільність є досить стабільною величиною, мало що змінюється залежно від технології. Тому, при значенні $T_m = 1$ для віскозних волокон ($\rho = 1\,520$ кг / м³):

$$F = 10^6 \cdot 1 / 1\,520 = 658 \text{ (мкм)}^2.$$

Аналогічно для полікапроамідних ($\rho = 1\,140$ кг / м³) і поліпропіленових ($\rho = 920$ кг / м³) волокон:

$$F = 10^6 \cdot 1 / 1\,140 = 877 \text{ (мкм)}^2$$

та $F = 10^6 \cdot 1 / 920 = 1\,087 \text{ (мкм)}^2.$

Умовний діаметр волокон (D) розраховують у наближенні до круглої форми їх перетину:

$$F = \pi D^2 / 4 = 0,785 \cdot D^2, \quad (8.3)$$

$$D = \sqrt{F / 0,785}. \quad (8.4)$$

Слід враховувати, що при виробництві з волокон тканин використовують іншу характерну одиницю виміру, якою визначено поверхневу щільність. Пропонується самостійно ознайомитися з одиницею виміру "DEN".

Принципово немає обмежень в отриманні синтетичних волокон з полімерів будь-якого типу. Для деяких полімерів визначені найбільш ефективні розчинники й осаджувачі (табл. 8.1).

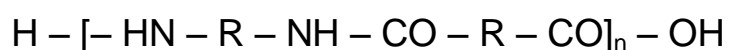
Типові розчинники й осаджувачі для полімерів деяких типів

Полімер	Розчинник	Осаджувач
Полівінілхлорид	Дихлоретан	Вода
Поліізобутилен	Бензол	Етиловий, метиловий спирти
Перхлорвініл	Ацетон	Вода
Полістирол	Бензол	Метиловий спирт, бензин
Полівініловий спирт	Вода, формамід	Метиловий, етиловий спирти
Поліметилметакрилат	Бензол	Бензин
Полібутилметакрилат	Ацетон	Метиловий спирт
Полівінілацетат	Нижчі спирти	Вода, ефір
Полівінілбутираль	Етиловий спирт	Вода, ефір
Поліуретани	Циклогексан	Вода
Поліефіри	Ацетон	Вода, спирти
Поліаміди	Крезол	Метиловий спирт
Фенол-формальдегідна смола	Етиловий спирт, ацетон	Вода
Мочевино-формальдегідна смола	Вода	Розчин соляної кислоти

У багатьох випадках важливо враховувати ступінь полімеризації, що характеризується молекулярною масою полімеру. Найчастіше молекулярну масу полімеру визначають з урахуванням принципової хімічної будови. Наприклад, поліефіри мають будову:



і їх можна розглядати як високомолекулярні кислоти, отже, за числом кінцевих карбоксильних груп можна судити про молекулярну масу полімеру. Для поліамідів характерна будова:



і їх можна розглядати як високомолекулярні кислоти, отже, за числом аміногруп на одиницю маси речовини залежить від молекулярної маси.

8.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Завдання розподілені по 10 варіантів.

Кожен студент виконує завдання відповідно до номера, під яким записаний у журналі групи і який зазначений у певній таблиці для розрахунків (табл. 8.2, табл. 8.3).

Таблиця 8.2

Вихідні дані для варіантів 1 – 5

№ п/п	Варіант	Параметри		
		x	y	z
1	1	0,15	–	–
2	1	0,16	–	–
3	1	0,17	–	–
4	1	0,18	–	–
5	1	0,20	–	–
6	2	250	–	–
7	2	300	–	–
8	2	200	–	–
9	2	400	–	–
10	2	500	–	–
11	3	0,05	250	1 300
12	3	0,10	150	1 350
13	3	0,15	300	1 375
14	3	0,20	100	1 400
15	3	0,25	200	1 380
16	4	10	0,15	–
17	4	12	0,20	–
18	4	14	0,25	–
19	4	16	0,30	–
20	4	18	0,15	–
21	5	150	0,15	1 300
22	5	100	0,10	1 250
23	5	200	0,20	1 350
24	5	250	0,15	1 400
25	5	300	0,10	1 375

Дані для розрахунків

№ п/п	Варіанти	Параметри								
		x	y	z	k	l	m	n	p	t
1	6	0,90	40	20	100	–	5	–	–	–
2	6	0,95	45	12	150	–	10	–	–	–
3	6	0,85	50	14	200	–	15	–	–	–
4	6	0,80	55	18	250	–	20	–	–	–
5	6	0,90	60	16	100	–	20	–	–	–
6	7	2000	20	1,0	0,40	0,80	–	–	–	–
7	7	2500	25	1,5	0,45	0,75	–	–	–	–
8	7	3000	30	2,0	0,48	0,75	–	–	–	–
9	7	3500	35	2,5	0,42	0,85	–	–	–	–
10	7	4000	40	2,5	0,40	0,85	–	–	–	–
11	8	1,5	8,0	6,0	2,0	84	0,50	85	12,1	2,9
12	8	2,0	8,1	6,2	2,1	83,6	0,75	87	12,2	0,8
13	8	2,0	8,2	6,4	2,1	83,3	0,75	85	12,3	2,7
14	8	1,5	8,3	6,5	2,2	83,0	1,00	87	12,4	0,6
15	8	1,5	8,2	6,1	2,2	83,5	1,00	85	12,5	2,5
16	9	70	0,10	0,15	0,025	0,09	–	–	–	–
17	9	75	0,15	0,20	0,025	0,09	–	–	–	–
18	9	80	0,10	0,15	0,025	0,09	–	–	–	–
19	9	85	0,15	0,20	0,025	0,09	–	–	–	–
20	9	75	0,10	0,20	0,025	0,09	–	–	–	–
21	10	12	20	0,8	0,3	–	–	–	–	–
22	10	10	21	1,0	0,2	–	–	–	–	–
23	10	12	22	0,9	0,4	–	–	–	–	–
24	10	12	23	1,0	0,5	–	–	–	–	–
25	10	10	25	1,0	0,4	–	–	–	–	–

Варіант 1. Обчислити площу поперечного перерізу й умовний діаметр віскози за заданою лінійною щільністю x текс.

Варіант 2. Розрахувати лінійну щільність віскози за заданим значенням площі поперечного перерізу y (мкм)².

Варіант 3. Обчислити міцність одиночної нитки з волокна лавсан, якщо розривне зусилля нитки x Н, площа поперечного перерізу y (мкм)², щільність волокна z (кг / м³).

Варіант 4. Визначити міцність нитки волокна лавсан, якщо розривне зусилля одиночної нитки x г, а лінійна щільність волокон y текс.

Варіант 5. Визначити, при якому зусиллі рветься нитка з волокна, якщо площа поперечного перерізу волокна y (мкм)², міцність одиночної нитки x (Н / м²), а щільність z (кг / м³).

Варіант 6. Крутильна машина працює з к. к. д. – x . Швидкість харчування машини – y м / хв, тривалість роботи машини на добу – z годин, кількість крутильних місць у машині – k , лінійна щільність нитки – m текс. Визначити продуктивність машини.

Варіант 7. Розрахувати швидкість виходу плівки з сушильної частини машини з переробки целофану. Параметри виробничого процесу: x кг / добу; маса 1 м² плівки – y г; довжина щілини філієри z м; коефіцієнт усадки плівки – k ; коефіцієнт, що враховує вміст гліцерину готової плівки – l .

Варіант 8. Визначити потребу віскози для виготовлення x кг віскозної нитки. Склад віскози: y % – α -целюлози; z % – гідроксиду натрію; k % – сірковмісні сполуки; l % – вода. Втрати при формуванні – m % α -целюлози. Склад волокна: n % – α -целюлози; p % – води; t % – замаслювача.

Варіант 9. У технології лавсанового волокна в стадії етерифікації витрачається x г / добу терефталевої кислоти. Витрата стабілізатора і каталізатора становить y і z % від маси терефталевої кислоти, відповідно. Втрати каталізатора та стабілізатора за експериментальними даними k і l , відповідно. Потрібно визначити витрати каталізатора та стабілізатора.

Варіант 10. Потрібно обчислити витрату сірчаної кислоти на виробництво 1 кг волокна з полівінілового спирту. Параметри технологічного процесу такі: концентрація сірчаної кислоти у ванні – x %, винесення волокном ацеталіруючої суміші y %, втрати сірчаної кислоти – z %, а її витрата на інші процеси – k %.

8.3. Приклади виконання завдань

Приклад 1. За відомими значеннями для віскози: лінійна щільність 0,16 текс, площа поперечного перерізу (за лінійної щільності волокна в 1 текс й об'ємної щільності 1 520 кг / м³) дорівнює 658 (мкм)². Визначити площу поперечного перерізу й умовний діаметр волокна.

Перш за все, врахуємо, якщо за лінійної щільності 1 текс площа поперечного перерізу дорівнює 658 (мкм)^2 , то за лінійної щільності 0,16 текс площа поперечного перерізу (F) дорівнює:

$$F = 658 \cdot 0,16 = 105,28 \text{ (мкм)}^2.$$

За розрахованим значенням F можна визначити умовний діаметр волокна за формулою (8.4):

$$D = 105,28 / 0,785 = 134,11 = 11,58 \text{ (мкм)}$$

Приклад 2. Потрібно розрахувати міцність одиночної нитки лавсанового волокна, якщо для нього площа поперечного перерізу дорівнює $240,2 \text{ (мкм)}^2$, розривне зусилля становить 0,1 Н, об'ємна щільність $1\,380 \text{ кг / м}^3$, а площа поперечного перерізу за лінійної щільності 1 текс дорівнює 730 (мкм)^2 .

До виконання завдання можна йти двома шляхами:

1) міцність волокна на розрив можна розрахувати, як відношення розривного зусилля до площі перетину волокна:

$$0,1 / 240,2 = 10^{-5} \cdot 41,6 \text{ Н / (мкм)}^2 = 41,6 \text{ кг / мм}^2;$$

2) спочатку визначають лінійну щільність волокна, як відношення заданої площі перетину волокна до його площі за лінійної щільності 1 текс:

$$T_m = 240,2 / 730 = 0,329 \text{ (текс)}.$$

Тоді міцність волокна дорівнює (в текстильних одиницях):

$$0,1 / 0,329 = 0,303 \text{ (Н / текс)} = 30,2 \text{ (г / текс)}.$$

Для перекладу отриманого значення в одиниці СІ слід врахувати об'ємну щільність матеріалу волокна та поняття текс:

$$0,302 \cdot 1\,380 \cdot 100 / 1\,000 = 41,6 \text{ (кг / мм}^2\text{)}.$$

Приклад 3. Функціонування целофанової машини характеризується наступними параметрами: маса 1 м² целофану – 30 г; швидкість виходу плівки з сушильної частини – 70 м / хв; довжина щілини філієри – 2,0 м; коефіцієнт поперечної усадки плівки – 0,5; коефіцієнт, що враховує вміст гліцерину в готовій плівці – 0,9. Потрібно визначити продуктивність машини.

Продуктивність машини визначається масою продукції на одиницю часу, отже, маса плівки з урахуванням коефіцієнта поперечної усадки:

$$70 \cdot 2,0 \cdot 0,5 \cdot 30 = 2\,100 \text{ (г / хв)} = 2,1 \text{ (кг / хв)} = 3\,024 \text{ (кг / добу)}.$$

Приклад 4. Живлення крутильної машини здійснюється зі швидкістю 50 м / хв; коефіцієнт корисного часу використання машини 0,89; тривалість роботи машини на добу 22 години; число крутильних місць у машині 200; лінійна щільність волокна 10 текс. Визначити продуктивність машини.

З урахуванням формули (8.1) та перекладом одиниць часу, визначення продуктивності машини виконується в одну дію:

$$50 \cdot 0,89 \cdot 22 \cdot 200 \cdot 60 \cdot 10 / (1\,000 \cdot 1\,000) = 117,48 \text{ (кг / добу)}.$$

Приклад 5. Потрібно визначити кількість віскози для отримання 1 кг текстильної нитки, якщо склад віскози: 8,2 % α -целюлози; 6,6 % гідроксид натрію; 2,4 % сірковмісні сполуки; 82,8 % вода. Щільність віскози прийняти 1120 кг / м³; втрати при формуванні 1,2 % α -целюлози; втрати при сушінні, обробці, перемотуванні 1,5 % α -целюлози; склад волокна: 87,3 % α -целюлоза, 12 % вода; 0,7 % замаслювач.

Спочатку розрахуємо витрати α -целюлози для отримання 1 кг текстильної нитки:

$$0,873 \cdot 1,012 \cdot 1,015 = 0,897 \text{ (кг)}.$$

Враховуємо вміст у віскозі 8,2 % α -целюлози і знаходимо необхідну її кількість:

$$0,897 / 0,082 = 10,9 \text{ (кг)}.$$

Обсяг такої кількості віскози визначаємо з урахуванням її щільності:

$$10,9 / 1\,120 = 0,009\,73 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Приклад 6. Капронове волокно виробляється в апаратах безперервного поліамідірування загальною продуктивністю 50 т / добу. Маса капролактаму на поліамідірування дорівнює 69 т / добу, обсяг апарату (АПН-10) – 10 м³. Визначити число апаратів.

Визначаємо продуктивність одного апарату:

$$10 \cdot 24 \cdot 1\,120 / (25 \cdot 1\,000) = 10,75 \text{ (т / добу)}.$$

Приймаємо щорічний простій апарату рівним 18 днів на рік, тобто коефіцієнт корисного часу становитиме $347 / 365 = 0,951$. Тоді для переробки 69 т / добу капролактаму потрібно апаратів:

$$69 / (10,75 \cdot 0,951) = 6,75 \approx 7 \text{ (шт.)}.$$

Приклад 7. Для виробництва волокна з полівінілового спирту застосовується сірчана кислота на стадії ацетилювання для нейтралізації ацетату натрію, що утворюється в прядильному розчині. Визначити витрату сірчаної кислоти на 1 кг волокна, якщо концентрація сірчаної кислоти у ванні 10 %; винесення волокном суміші 25 %; втрати кислоти на інші процеси 0,5 %.

З урахуванням винесеної суміші, кількість сірчаної кислоти:

$$25 \cdot 0,1 / 100 = 0,25 \text{ (кг)}.$$

Тоді загальна витрата сірчаної кислоти, з урахуванням 0,5 % втрат в інших процесах, буде:

$$0,25 \cdot 1,005 = 0,251 \text{ (кг)}.$$

Приклад 8. Каталізатор (оксид шестивалентної сурми) і стабілізатор (ортофосфорна кислота) застосовуються при виробництві полієфірної нитки – поліетіленглікольтерефталату (лавсану) з етиленгліколю та терафталевої кислоти. На етерифікацію витрата терафталевої кислоти становить 75 т / добу, витрата каталізатора і стабілізатора 0,09 % і 0,025 % від

маси терефталевої кислоти. Визначити витрату каталізатора та стабілізатора. Врахувати, що середньостатистичні втрати каталізатора та стабілізатора становлять 0,1 % і 0,2 %.

Витрата каталізатора:

$$75 \cdot 0,09 \cdot 0,001 / 100 = 0,0675 \text{ (т / добу).}$$

Витрата стабілізатора:

$$75 \cdot 0,025 \cdot 1,002 / 100 = 0,01879 \text{ (т / добу).}$$

8.4. Запитання для самодіагностики

1. У чому відмінність штучних і синтетичних органічних волокон?
2. Назвіть основну сировину та стадії технології віскози.
3. До якого виду волокон відносять ацетатне волокно?
4. Яким традиційним методом здійснюють формування ацетатних волокон?
5. З якою метою проводять замаслення ацетатних волокон?
6. З якою метою проводять термофіксацію поліамідних волокон?
7. Капрон і лавсан подібні щодо вихідної сировини?
8. Назвіть два найпоширеніші варіанти формування поліакролонітрильних волокон.
9. Назвіть типові осаджувачі для мокрого способу технології полівінілспіртових волокон.
10. Що таке текст?
11. У яких характерних одиницях вимірюють поверхневу щільність синтетичних тканин?

Завдання 9. Основи електрохімічних процесів

9.1. Загальні теоретичні положення

Відмінною особливістю електрохімічних процесів є те, що в них здійснюється безпосередній перехід електричної енергії в хімічну (або навпаки) без проміжного перетворення енергії в теплоту.

Поширення електрохімічних процесів у промисловості почалося після винаходу в 1870 році динамо-машини. Перше застосування електрохімічних процесів поширилося на технології рафінування кольорових і благородних металів і лише пізніше – на отримання продуктів електролізу. Перед електрохімічними технологіями ставилися основні завдання:

- отримання, рафінування кольорових і благородних металів;
- отримання лужних, лужноземельних та інших легких металів;
- отримання спеціальних сплавів;
- виробництво хлору, лугів, кисню, водню;
- виробництво неорганічних солей, окислювачів;
- захист металів від корозії;
- отримання декоративних і спеціальних покриттів;
- гальванопластика для виготовлення копій;
- виробництво хімічних джерел струму.

На цей час галузі застосування електрохімії значно розширилися: в матеріалознавстві найрізноманітніших речовин, у машинобудуванні та зміцненні інструментальних і спеціальних сплавів, у синтезі органічних речовин, в отриманні рідкісних і розсіяних елементів, в радіо- і мікроелектроніці та ін.

Переваги електрохімічних технологій у порівнянні з хімічними наступні:

- менш складні схеми виробничих процесів й інших цінних продуктів високої чистоти;
- побічні продукти виробництва часто мають самостійну цінність;
- відтворюваність характеристик продукції і простота тиражування технологій.

До недоліків електрохімічних виробництв відносять те, що в основному застосовується енергія постійного струму, а значить необхідні відповідні випрямляючі пристрої.

Електрохімічні процеси проводять у спеціальних ваннах або електrolізерах, які є основними апаратами, що завантажуються розчинами або розплавами (електроліти) і через них проходить постійний струм від позитивного електрода (анода) – до негативного (катода). На аноді протікає реакція розчинення або окислення металу, а на катоді – реалізується виділення металу, відновлення.

В основі електрохімічних технологій знаходяться два закони Фарадея:

1) кількість речовини, що виділяється при електролізі, прямопропорційно силі струму й часу проходження струму;

2) різні речовини при електролізі виділяються прямопропорційно їх електрохімічним еквівалентам.

Для виділення 1 грама речовини при електролізі необхідна кількість електрики, яку називають числом Фарадея і його значення становить 96 500 Кл / моль.

Електрохімічний еквівалент (С) – це кількість речовини, яка виділена чи розчинена при пропусценні через електроліт одиниці кількості електрики.

Кількісне вираження законів Фарадея можна записати формулою:

$$Q = C \cdot I \cdot t, \quad (9.1)$$

де Q – кількість виробленого (розчиняється) речовини при електролізі;

I – сила струму;

t – тривалість процесу.

При проведенні електрохімічних процесів завжди є певні втрати виділеної (розчиненої) речовини, в тому числі і через протікання побічних, паралельних реакцій. Тому частка електрики, що пішла на цільову реакцію, називається вихід по струму (η). Фактично вихід по струму – це відношення практично одержуваної (що розчиняється) речовини при електролізі до теоретично можливої, згідно зі законами Фарадея. З урахуванням викладеного формула (9.1) запишеться:

$$Q = C \cdot I \cdot t \cdot \eta \text{ або } Q_{\text{теор}} = C \cdot I \cdot t / F. \quad (9.2)$$

В електрохімічних процесах для характеристики швидкості реакції користуються щільністю струму – це кількість електрики, що пройшла на одиницю часу через одиницю поверхні електрода на його кордоні з електролітом. Розрахункова щільність струму визначається як відношення сили струму до геометричної площі електродів, занурених в електроліт.

Витрати електроенергії на одиницю продукції прямо пропорційні добутку напруги електролізу на кількість електричної енергії, необхідної для вироблення продукції.

Напруга розкладу – різниця рівноважних потенціалів на анод і катод. За такої напруги і сили струму, близьких до нуля, починається електродолі за наявності умов оборотності електродних реакцій.

Різниця між потенціалом електрода при електродолі та його рівноважним потенціалом називається перенапругою.

9.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Розрахункові завдання мають кілька варіантів. Кожен студент виконує свій варіант за відповідним номером, під яким записаний в журналі групи і вказаний в таблиці з вихідними даними (табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Вихідні дані

№ п/п	Варіант	Параметри процесу				
		x	y	z	k	l
1	1	350	13	0,30	90	31,8
2	1	400	12	0,30	91	31,8
3	2	380	15	0,20	$13 \cdot 10^8$	–
4	2	400	14	0,25	$14 \cdot 10^8$	–
5	2	390	13	0,30	$13 \cdot 10^8$	–
6	3	–	–	–	–	–
7	3	–	–	–	–	–
8	3	–	–	–	–	–
9	4	650	5,0	90	–	–
10	4	600	5,5	89	–	–
11	4	620	5,0	91	–	–
12	5	15	6,0	4,5	–	–
13	5	10	5,0	4,9	–	–
14	6	23	15 000	110	–	–
15	6	24	14 500	120	–	–
16	7	2 400	20,0	–	–	–
17	7	3 000	80,0	–	–	–
18	8	25	40	2,5	94	–
19	8	20	35	3,0	90	–
20	9	20	50	8,85	–	–
21	9	15	60	8,90	–	–
22	10	250	0,25	–	–	–
23	10	200	0,30	–	–	–
24	11	20	4 500	91	55	–
25	11	25	4 500	93	53	–

Варіант 1. У процесі рафінування чорнової міді потрібно отримати x кг чистої міді на добу. Яка кількість електрики необхідна, якщо напруга на клеммах машини y В, на клеммах електролізера z В, вихід по струму k %, електрохімічний еквівалент міді l г.

Варіант 2. Скільки електролітичних ванн необхідно для рафінування чорнової міді з отриманням x кг чистої міді на добу. Напруга на клеммах машини y В, на клеммах електролізера z В. Визначити вихід по струму, якщо кількість електрики становить k Кл.

Варіант 3. Визначити електрохімічний еквівалент бертолетової солі ($KClO_3$) при її отриманні електролізом хлориду калію.

Варіант 4. Визначити необхідну кількість електрики для отримання x г бертолетової солі ($KClO_3$) електролізом хлориду калію, якщо напруга електролізу y В, вихід по струму z %.

Варіант 5. Розрахувати витрати електроенергії для отримання x г гідроксиду калію електролізом розчину хлориду калію, якщо під час процесу витрачено y А годин електроенергії, напруга на клеммах електролізера z В.

Варіант 6. Визначити вихід по струму для гідроксиду натрію при електролізі розчину хлориду натрію протягом x годин при силі струму y А. Врахувати, що електролітичний луг містить z г / л гідроксиду натрію.

Варіант 7. Обчислити фактичний вихід гідроксиду натрію при електролізі розчину хлориду натрію, якщо утворюється луг у кількості x л, містить y г / л гідроксиду натрію.

Варіант 8. Який час потрібен для електролітичного отримання покриття з нікелю на металевій квадратній платівці зі стороною x см, необхідна товщина шару нікелю y мкм, сила струму z А, вихід по струму k %.

Варіант 9. Обчислити масу нікелю, що осів при електролізі на квадратну металеву пластинку зі стороною x см, якщо товщина покриття y мкм, а щільність нікелю в покритті z г / м³.

Варіант 10. Визначити надлишкову витрату електроенергії на отримання x кг продукту, викликану перенапруженням y В у процесі електролітичного отримання водню.

Варіант 11. Продуктивність цеху отримання алюмінію x тис т / рік. Застосовуються самообпалювальні аноди, розраховані на силу струму y А. Вихід по струму z %, час роботи електролізерів 7 500 годин / рік, вихід алюмінію на 1 кВт × год дорівнює k г, втрати при плавлі 1,1 %. Визначити число електролізерів у цеху та середню напругу на клеммах електролізерів.

9.3. Приклади виконання завдань

Приклад 1. Проводиться рафінація чорнової міді для отримання 400 кг чистої міді на добу. Напруга на клемі ванни 0,25 В, напруга на клемі машини 15 В. Вихід по струму 90 %. Потрібно визначити необхідну кількість електрики.

Різниця напруг на ванні та на машині дозволяє визначити загальну кількість ванн:

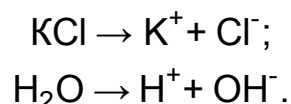
$$15 / 0,25 = 60 \text{ (штук).}$$

З огляду на стандартний електрохімічний еквівалент міді 31,8 можна застосувати формулу (9.2) для визначення необхідної кількості електрики (Q):

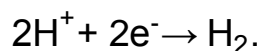
$$Q = 96\,500 \cdot 400 / 31,8 \cdot 0,9 = 13,5 \cdot 10^8 \text{ (Кл).}$$

Приклад 2. Потрібно розрахувати витрати електроенергії для отримання 1 кг бертолетової солі (KClO₃) методом електролізу хлориду калію. Напруга електролізу 5 В, вихід за струмом 90 %.

У електроліті відбувається дисоціація KCl і H₂O:



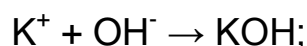
На катоді проходить реакція відновлення:



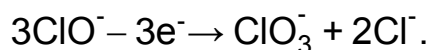
На аноді відбувається окислення:



При цьому протікають вторинні процеси: в катодному просторі:



в анодному просторі:



Зі схем випливає, що для утворення одного аніона ClO_3^- , що є складовою частиною KClO_3 , витрачається 3 електрона, тобто з урахуванням оборотності процесу теоретично витрачається $3 \times 2 = 6$ еквівалентів електрики. Відповідно, з огляду на молекулярну вагу KClO_3 визначаємо електрохімічний еквівалент бертолетової солі (С) в заданому процесі:

$$C = 122,6 / 6 = 20,43.$$

Практичні витрати електрики на 1 000 г бертолетової солі при виході за струмом 90 % складе:

$$Q = 96\,500 \cdot 1\,000 / (C \cdot 0,9) = 96\,500 \cdot 1\,000 / (20,43 \cdot 0,9) = 5,25 \cdot 10^6 \text{ (Кл)}.$$

За заданої напруги електролізу витрата електроенергії на одержання 1 кг KClO_3 буде визначатися:

$$5,25 \cdot 10^6 \cdot 5 = 26,25 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}.$$

Приклад 3. Потрібно визначити вихід за струмом і витрати електроенергії при електролізі хлориду калію, якщо в катодний простір електролізера залито 500 мл. Приріст мідного катода становить 5 г, електроліт у катодному просторі містить гідроксид калію (при аналізі на 10 мл електроліту пішло 25 мл 0,1 Н розчину соляної кислоти). Напруга на клеммах електролізера склала 4,5 В.

З урахуванням (11.2) приросту мідного катода на 5 г, визначаємо кількість електрики на електроліз:

$$I \cdot t = 26,8 \cdot 5 / 32 = 4,2 \text{ (А} \cdot \text{год)}.$$

Теоретично за час електролізу можна отримати відповідно до закону Фарадея:

$$Q_{\text{теор}} = 4,2 \cdot 56 / 26,8 = 8,8 \text{ (г)}.$$

Фактично отримано:

$$Q_{\text{ф}} = 25 \cdot 0,0056 \cdot 500 / 10 = 7 \text{ (г)}.$$

Відповідно, вихід за струмом:

$$7 / 8,8 = 0,795 \text{ або } 79,5 \text{ \%}.$$

Витрата електроенергії (W) на 1 кг КОН у такому процесі складе:

$$W = 4,5 \cdot 4,2 \cdot 1\,000 / 7 = 2\,700 \text{ (Вт} \cdot \text{год / кг)}.$$

Приклад 4. Ведеться електроліз розчину хлориду натрію протягом 24 годин при силі струму 15 500 А. Отримали 4 200 л електролітичного лугу, що містить 125 г / л NaOH. Потрібно визначити вихід за струмом.

Вихід за струмом визначається через відношення фактичного до теоретично можливого виділення речовини. Відповідно, можна визначити ці значення:

$$Q_{\text{ф}} = 125 \cdot 4\,200 / 100 = 525 \text{ (кг)}$$
$$Q_{\text{теор}} = 15\,500 \cdot 24 \cdot 40 / (1\,000 \cdot 26,8) = 555 \text{ (кг)}.$$

Визначаємо вихід за струмом:

$$\eta = 525 / 555 = 0,946 \text{ або } 94,6 \text{ \%}.$$

Приклад 5. Металева квадратна пластинка зі стороною 10 см повинна бути покрита шаром нікелю товщиною 50 мкм. У розчині нікель знаходиться у формі іонів Ni^{2+} , вихід за струмом 94,4 %, сила струму 2,5 А. Потрібно визначити необхідний час проведення електролізу.

Визначаємо необхідний обсяг осадженого шару нікелю (торцеві поверхні не враховуємо): $10 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,005 = 1 \text{ (см}^3\text{)}.$

З урахуванням довідкового значення щільності нікелю рівній $8,9 \text{ г / см}^3$ кількість осажденного нікелю: $1 \cdot 8,9 = 8,9 \text{ (г)}$.

Для виділення такої кількості нікелю потрібно:

$$I \cdot t = 8,9 \cdot 2 \cdot 26,8 / 58,69 = 8,12 \text{ (А} \cdot \text{ год)}$$

Насправді потрібна кількість електрики:

$$8,12 / 0,944 = 8,6 \text{ (А} \cdot \text{ год)}$$

Час проведення електролізу має становити:

$$t = 8,6 / I = 8,6 / 2,5 = 3,44 \text{ (год)}$$

Приклад 6. У процесі електролітичного отримання водню перенапруження становило $0,2 \text{ В}$. Потрібно визначити додатковий витрати електроенергії на 1 т продукту.

У зв'язку з тим, що для отримання 1 еквівалента потрібно $26,8 \text{ А} \cdot \text{ год}$, то додаткові витрати електроенергії складуть:

$$26,8 \cdot 0,2 = 5,36 \text{ (Вт} \cdot \text{ год)}$$

У перерахунку з грамів на тони отримаємо:

$$5,36 \cdot 10^6 = 5\,360 \text{ (кВт} \cdot \text{ год)}$$

Приклад 7. Відділення електролізу має продуктивність $30\,000 \text{ т / рік}$ алюмінію. В електролізерах застосовуються самообпалювальні аноди на силу струму 45 кА ; вихід за струмом 90% ; вихід алюмінію на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ год}$ дорівнює 60 г ; втрати алюмінію при переплавці $1,5 \%$; час роботи електролізерів $8\,000 \text{ год / рік}$. Необхідно визначити кількість електролізерів у відділенні та середнє значення напруги на кожному з них.

Перш за все, визначимо годинну продуктивність електролізерів з урахуванням втрат:

$$(30\,000 + 30\,000 \cdot 0,015) \cdot 1\,000 / 8\,000 = 3\,806,25 \text{ (кг / год)}$$

З огляду на довідкові дані для електролітичного еквівалента алюмінію (0,335) можна визначити кількість алюмінію, що виділяється на 1 А · год:

$$0,90 \cdot 0,335 = 0,30 \text{ (г)}.$$

Відповідно, можна визначити кількість алюмінію, вироблену електролізером за 1 годину:

$$0,3 \cdot 45\,000 / 1\,000 = 13,5 \text{ (кг)}.$$

Тепер визначаємо кількість електролізерів, яка необхідна для виробництва 3 806,25 кг алюмінію:

$$3\,806,25 / 13,5 = 282 \text{ (електролізера)}.$$

Середня напруга на електролізері визначається за формулою (11.2):

$$1\,000 \cdot 0,335 \cdot 0,9 / 60 = 5,02 \text{ (В)}.$$

9.4. Запитання для самодіагностики

1. Що є теоретичною та практичною передумовами для поширення електрохімічних процесів?
2. У чому особливість електрохімічних процесів?
3. Назвіть традиційні сфери застосування електрохімічних процесів.
4. Які переваги перед хімічними мають електрохімічні процеси?
5. Назвіть відомі недоліки електрохімічних процесів.
6. Назвіть основний апарат, у якому реалізують електрохімічні процеси.
7. Які хімічні процеси відбуваються на катоді та який заряд він має?
8. Позначте напрямок постійного струму при електролізі.
9. Які закони встановлюють кількісні взаємовідносини при електрохімічних процесах?
10. Що таке електрохімічний еквівалент?
11. Визначте поняття "вихід за струмом".
12. Що означає поняття "перенапруження"?

Тема 8. Якість продукції в машинобудуванні

Завдання 10. Якість і надійність продукції

10.1. Загальні теоретичні положення

Поняття якості продукції є базовим у питаннях сучасної конкурентної боротьби за збільшення збуту продукції та завжди передбачає певний ступінь відповідності продукції потребам людей або технічним пристроям. Тому для будь-якої продукції може бути встановлений рівень якості – відносна характеристика, заснована на порівнянні певних властивостей продукції з базовими показниками. Під останніми розуміють показники, які взяті за основу при оцінці якості продукції. Для віднесення продукції до певного рівня якості всю продукцію класифікують на два класи, в кожному з яких виділяють окремі групи:

1. Клас продукції, що витрачається при використанні:

сировина і паливо, будматеріали, дорогоцінні камені і т. п. ;

матеріали і продукти (хімічні речовини, мастила, лісоматеріали, електротехнічні матеріали і т. п.);

витратні вироби (кондитерські, аптекарські, парфумерні, радіодеталі і т. п.).

2. Клас продукції, що витрачає свій ресурс:

вироби, які не ремонтуються (болти, гвинти, гайки, електровакуумні вироби, напівпровідникові вироби, скляні вироби і т. п.);

вироби, що ремонтуються.

Подібна класифікація спрощує процедуру вибору номенклатури одиничних показників рівня якості певних груп виробів, що встановлюються на підставі міжгалузевих і галузевих документів, наприклад, загальнодержавний класифікатор продукції (ЗКП). Вимірювання окремих показників якості продукції та послуг відноситься до сфери діяльності, що має назву кваліметрія.

У кваліметрії розроблені методи:

інструментальний, заснований на використанні технічних засобів для високоточного вимірювання певних показників якості продукції (геометричні розміри, вміст хімічних елементів, шорсткість поверхні, міцність, твердість);

експертний, заснований на узагальненні й аналізі думок групи експертів;

органолептичний, по суті – різновид попереднього методу, що базується на аналізі сприйняття окремих властивостей продукції (запах, смак, колір, форма і т. п.) органами почуттів експертів;

статистичний, заснований на математичній статистиці збору, обробки інформації про показники якості продукції і дозволяє замінити суцільний контроль дешевшим вибіркоvim при забезпеченні високої точності результатів;

соціологічний, заснований на опитуванні споживачів й обробці даних опитувань;

розрахунковий, заснований на застосуванні теоретичних або емпіричних формул, у тому числі з використанням аналогових показників, отриманих іншими методами;

комбінований.

Серед показників оцінки якості продукції використовують:

а) класифікаційні (з відповідним кодовим позначенням згідно з ЗКП для формування груп аналогів), які безпосередньо в оцінці не застосовують;

б) функціональні, які характеризують технічні можливості продукції забезпечувати необхідний ефект і висловлюють прогресивність конструкції виробу;

в) ресурсозберігаючі, які висловлюють економічну сутність виробів і показують рівень ресурсів, що витрачаються на його створення й експлуатацію;

г) природоохоронні, які характеризують вплив продукції на людину та навколишнє середовище.

У свою чергу всі перераховані показники діляться на групи. Зокрема, у функціональних виділяють:

показник призначення, який визначає відповідність призначенню й сфері застосування (конструктивні й експлуатаційні ознаки);

показник надійності характеризує властивість виробу виконувати задані функції та зберігати експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу (безвідмовність, збереженість, довговічність, ремонтпридатність);

показник технічного ефекту, що характеризує здатність виробу виконувати свої функції в заданих умовах;

показник ергономічності характеризує пристосованість до функціонування в системі "людина – виріб – середовище проживання" (гігієнічність, у тому числі температура, вологість, тиск, освітленість); антропометрія (відповідність певним розмірам і формі людини); фізіологія (відповідність швидкісним, слуховим, зоровим й іншим можливостям людини); психофізичні (можливість сприймати й обробляти інформацію при використанні виробів).

Серед ресурсозберігаючих показників найбільш важливі: показник технологічності (пристосованість конструкції виробу до досягнення найменших витрат усіх видів ресурсів при виробництві, експлуатації, ремонті); показник ресурсоємності (пристосованість до ефективного використання ресурсів при функціонуванні); природоохоронний показник (безпека людини, екологічна безпека на всіх етапах виробництва й експлуатації виробу).

Слід враховувати, що продукція класу, що витрачається, не має таких властивостей, як безпека, довговічність, ремонтпридатність, економічність (ресурсопотрібність) й ергономічність.

Усі показники якості за ознаками підрозділяються на якісні та кількісні (власне, звані показники якості продукції). Крім того, показники можуть бути поодинокі (характеризують тільки одну властивість), комплексні (характеризують кілька властивостей) та інтегральні (I):

$$I = \frac{E}{E_c + E_e}, \quad (10.1)$$

де E – економічний ефект від використання продукції;

E_c – витрати на створення;

E_e – витрати на експлуатацію.

Найбільш поширені методи оцінки рівня якості продукції: диференційний, який використовує поодинокі показники якості для визначення відносного значення шляхом порівняння з базовим; комплексний, який використовує узагальнений показник (середньозважений від одиничних, інтегральний, головний); інтегральний, який використовує сумарний корисний ефект від експлуатації або споживання продукції й сумарні витрати на її створення (I):

$$I = П \cdot (E_c \cdot \varphi + E_3), \quad (10.2)$$

де П – сумарний корисний ефект;

E_c – сумарні витрати на створення;

ϕ – поправочний коефіцієнт, що залежить від терміну служби (за перший рік $\phi = 1$);

E_3 – сумарні витрати.

У сучасних умовах основною властивістю продукції є надійність. Виріб, здатний у певних умовах експлуатації виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації – називають працездатним. Порушення працездатності виробу називається відмовою. У разі невідповідності хоча б одній з вимог технічної документації виріб визнається несправним. Несправності можуть бути, такі що призводять до відмов і які не викликають відмов. Надійність виробу визначають за сукупністю таких властивостей:

безвідмовність, здатність зберігати працездатність протягом деякого часу напрацювання без вимушених перерв;

довговічність, здатність зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й ремонту (напрацювання виробу до граничного стану називається ресурсом);

ремонтпридатність, здатність до попередження, виявлення та усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічного обслуговування й ремонту;

збереженість, здатність підтримувати задані експлуатаційні показники протягом терміну зберігання й транспортування, встановлених технічною документацією.

Контроль якості на підприємствах забезпечують за рахунок застосування методів визначення:

частки або % дефектних виробів у партії;

рівня вхідної якості – середня частка дефектних виробів у ряді контрольованих партій ($q_{вх}$):

$$q_{вх} = \frac{\sum D_i}{\sum N_i}, \quad (10.3)$$

де D_i – число дефектних виробів у i -тій партії;

N_i – число виробів в i -тих партіях;

i – число партій виробів, що перевіряються.

рівня вихідної якості – середня частка дефектних виробів у ряді прийнятих партій.

Дві основні цілі переслідуються контролем якості продукції:

1) організація технологічного процесу за принципом мінімізації частки дефектних виробів;

2) виключити можливість відправки споживачеві партій виробів з великим відсотком дефектних виробів.

Перша мета реалізується відповідною організацією та проведенням статистичного регулювання технологічного процесу. Друга – організацією й проведенням суцільного або вибіркового контролю якості за результатами перевірки декількох вибірок.

Статистичне регулювання здійснюють за допомогою контрольних карт, необхідних для реєстрації результатів періодичних спостережень за якістю продукції або параметрами проведення технологічного процесу. Контрольні карти часто застосовують двох типів: за кількісними показниками якості виробів або по числу дефектних виробів. У контрольних картах часто використовують середньоарифметичне значення результатів вимірювань і розмах результатів вимірювань (різниця між найбільшим і найменшим результатом). Ці значення дозволяють нанести на мапу центральну лінію і відповідні лінії верхньої (ВКМ) і нижньої контрольних меж (НКМ). Обсяг вибірки бажаний більше 20 – 25, але часто його обмежують 10 – 12 виробами, а періодичність відбору вибірок визначається особливостями технологічного процесу. У разі, коли характеристики всіх вибірок знаходяться між контрольними межами, виробничий процес вважається стабільним.

Контрольні межі визначають із співвідношень:

$$\text{ВКМ} = D_4 \cdot R; \quad (10.4)$$

$$\text{НКМ} = D_3 \cdot R, \quad (10.5)$$

де D_3 , D_4 – коефіцієнти, що залежать від обсягу вибірки, які обираються за табл. 10.1;

R – середньоарифметичне значення розмахів усіх вибірок.

Значення емпіричних коефіцієнтів

Коефіцієнт	Об'єм вибірки								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Д ₃	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,18	0,22
Д ₄	3,27	2,58	2,28	2,12	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78

Показники надійності продукції визначають найчастіше за результатами випробувань, близьких до умов майбутньої експлуатації. Чи можливо застосувати й інші методи: дослідна експлуатація у виробника або підконтрольна експлуатація у споживача; збір інформації про роботу виробів від споживачів та ін.

Для невідновлюваних виробів випробування на визначення надійності продукції проводять протягом часу t , записаного в стандарті або відповідному заданому j – процентному ресурсу. За весь час випробувань фіксують число відмов виробів (m), а ймовірність безвідмовної роботи (\bar{P}) визначають за формулою:

$$\bar{P} = \frac{N - m}{N}, \quad (10.6)$$

де N – загальна кількість виробів, що випробовують.

При цьому рівень інтенсивності відмов ($\bar{\lambda}$) визначають за формулою:

$$\bar{\lambda} = \frac{m}{[(N - m) \cdot t]}. \quad (10.7)$$

Випробування для оцінки середнього ресурсу ($t_{\text{сер}}$) не відновлювальних виробів проводять до відмови кожного з них і фіксують відповідний час:

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum t_i}{N}, \quad (10.8)$$

де t_i – час відмови i -го виробу.

Для відновлюваних виробів для кожного з них фіксують час роботи між відмовами (t_m) і час, витрачений на їх відновлення після кожної відмови (τ_m). Напрацювання на відмову (\bar{T}) визначається формулою:

$$\bar{T} = \frac{\sum t_m}{m}. \quad (10.9)$$

При цьому середній час відновлення виробів ($\bar{\tau}$) визначають як середньоарифметичне:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum \tau_m}{m}. \quad (10.10)$$

Імовірність безвідмовної роботи визначається аналогічно, як і для не відновлювальних виробів (10.6).

У разі заданого значення максимальної інтенсивності відмов (λ_{\max}), можна розрахувати мінімальну ймовірність безвідмовної роботи (P_{\min}):

$$P_{\min} = \exp(-\lambda_{\max} \cdot t). \quad (10.11)$$

Аналогічний формулі (10.11) взаємозв'язок між P_{\min} і заданим значенням мінімального напрацювання на відмову (τ_{\min}):

$$P_{\min} = \exp\left(\frac{-t}{\tau_{\min}}\right). \quad (10.12)$$

10.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Для виконання пропонується кілька варіантів розрахункових завдань, що охоплюють різні питання даної теми.

Варіант 1 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 1 – 4). Підприємства випустили однакові вироби. Загальна кількість і кількість дефектних виробів у партіях від кожного підприємства представлені в табл. 10.2. Потрібно порівняти досконалість технологій на підприємствах.

Таблиця 10.2

Вихідні дані

№ п/п	Показники	Підприємства				
		А	В	С	Д	Е
1	Вміст виробів у партії, шт.	1 000	2 000	3 000	5 000	7 000
	Кількість дефектних виробів, шт.	8	14	16	20	22
2	Вміст виробів у партії, шт.	500	700	900	1 100	1 300
	Кількість дефектних виробів, шт.	2	3	7	15	2
3	Вміст виробів у партії, шт.	500	600	700	1 000	1 200
	Кількість дефектних виробів, шт.	1	4	5	7	9
4	Вміст виробів у партії, шт.	750	800	850	900	950
	Кількість дефектних виробів, шт.	3	7	2	7	7

Варіант 2 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 35 – 8). Визначити середній рівень вхідної якості підприємства за даними визначення числа дефектних виробів 6 партій (табл. 10.3).

Таблиця 10.3

Вихідні дані

№ п/п	Показники	Номер партії					
		1	2	3	4	5	6
5	Кількість виробів, шт.	110	50	160	170	30	60
	Дефектні вироби, шт.	3	2	3	3	0	2
6	Кількість виробів, шт.	210	190	230	260	290	60
	Дефектні вироби, шт.	5	4	5	6	6	2
7	Кількість виробів, шт.	300	310	350	280	400	350
	Дефектні вироби, шт.	5	7	2	2	8	5
8	Кількість виробів, шт.	370	380	420	100	50	450
	Дефектні вироби, шт.	5	7	8	2	0	8

Варіант 3 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 9 – 13). На автоматизованому пресі виготовляють циліндричні деталі. Визначити середнє арифметичне та розмах результатів виміру діаметра деталей (табл. 10.4).

Таблиця 10.4

Вихідні дані

№ п/п	Результати виміру діаметра, мм							
9	50,1	50,7	50,0	51,1	49,8	49,9	51,0	50,0
10	75,1	75,4	75,3	74,8	74,9	75,0	74,8	75,4
11	80,3	80,4	80,3	80,2	80,0	79,0	79,0	80,0
12	90,5	90,7	90,4	90,3	90,6	90,5	90,5	90,3
13	100,2	100,5	100,0	98,9	98,9	100,4	100,4	100,2

Варіант 4 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 14 – 17). За результатами випробування N штук діодів протягом 1000 годин відмовило D штук. Виконайте оцінку безвідмовної роботи й інтенсивності відмов (табл. 10.5).

Таблиця 10.5

Вихідні дані

№ п/п	N, шт.	D, шт.
14	500	17
15	1000	20
16	700	21
17	1500	10

Варіант 5 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 18 – 21). Для виробів стандартом задана максимальна інтенсивність відмов λ_{\max} за передбачений час t. Визначте мінімальну ймовірність безвідмовної роботи (табл. 10.6).

Таблиця 10.6

Вихідні дані

№ п/п	$\lambda_{\max} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	t, год
18	800	200
19	700	200
20	500	250
21	900	300

Варіант 6 (виконують студенти, записані в журналі групи під № 22 – 26). Стандартом на вироби задане мінімальне напрацювання на відмову T_{\min} за час випробувань t . Визначте мінімальну ймовірність безвідмовної роботи (табл. 10.7).

Таблица 10.7

Вихідні дані

№ п/п	T_{\min} , год	t , год
22	310	30
23	400	30
24	500	40
25	600	45
26	700	50

10.3. Приклади та вказівки до виконання завдань

Для виконання завдання варіанту 1 слід розрахувати частку дефектних виробів у партіях від кожного підприємства й порівняти їх між собою. За результатами порівняння цього показника якості зробити висновок про те, на якому з підприємств застосовується більш досконала технологія.

Рекомендується скористатися для розрахунків формулою (10.3) у варіанті 2.

Для розрахунків слід скористатися співвідношенням для визначення середньоарифметичного значення й поняття розмах у варіанті.

Варіант 4 слід виконувати з використанням співвідношення (10.6).

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи рекомендується застосувати формулу (10.11) у варіанті 5 і (10.12) у варіанті 6.

10.4. Запитання для самодіагностики

1. Визначте сутність поняття "рівень якості"?
2. Які два класи продукції виділяють при визначенні рівня якості продукції?
3. Що є об'єктом вивчення кваліметрії та які методи в ній застосовують?

4. Які показники оцінки якості продукції застосовують у практичній діяльності?
5. Визначте сутність поняття "надійність"?
6. Визначте сутність поняття "відмова"?
7. Визначте сутність поняття "ресурс"?
8. Визначте сутність поняття "безвідмовність" і в чому відмінність від поняття "довговічність"?
9. З якою метою на підприємствах складають контрольні карти?
10. Якими методами визначають показники надійності продукції?
11. Як визначається ймовірність безвідмовної роботи виробів?
12. Як визначають рівень інтенсивності відмов виробів?
13. Що таке напрацювання на відмову і як її визначають?
14. Що таке мінімальна ймовірність безвідмовної роботи і як її значення взаємопов'язане з максимальною інтенсивністю відмов, з мінімальним напрацюванням на відмову?

Тема 9. Техніко-економічне обґрунтування ефективності функціонування технологічних систем

Завдання 11. Раціональне використання енергії в технологічних системах

11.1. Основні теоретичні положення

Енергія є особливою формою існування матерії нашого Всесвіту, яка за сучасними поглядами складається з речовини, полів й інформації. Проявом речовини є маса, проявом полів – енергія. Інформація менш пізнана людством і не розглядається в промислових технологічних системах через відсутність балансових рівнянь, які взаємопов'язують її з масою й енергією. Навпаки, взаємозв'язок маси й енергії визначено формулою Ейнштейна, відомі закони, що дозволяють складати матеріальний та енергетичний баланси виробничих процесів. Існує значна кількість різних видів енергії, з яких у промислових технологічних системах найбільш істотне значення мають електрична, механічна й теплова енергія, в тому числі енергія водяної пари.

Електрична енергія, як правило, централізовано доставляється на підприємства від електрогенеруючих постачальників (теплові, гідро-, вітро-, атомні станції та ін.). І важливого значення набуває раціональне

її використання, що багато в чому визначається рівнем модернізації устаткування та ступенем автоматизації промислових процесів. При цьому грає роль правильний вибір енергоносія для окремих технологій підприємства: електроенергія, газ, димові гази, рідке паливо тощо. Істотний резерв в економії електроенергії складають вторинні енергетичні ресурси: гарячі заготовки та відходи технологічних процесів, тепло відхідних газів і гарячої води, попутно вироблена електрична й механічна енергія. Ефект у раціоналізації використання електричної енергії може досягатися за рахунок інтенсифікації технологічних процесів шляхом вдосконалення діючих технологій, упровадження нових технологічних схем і рецептурних рішень, автоматизації допоміжних процесів і вдосконалення організації виробництва.

Наступний важливий напрям раціоналізації орієнтовано на скорочення втрат електроенергії в устаткуванні та мережах за рахунок оптимізації схемних рішень, вмісту енергообладнання на відповідному технічному рівні та застосування економічних режимів роботи трансформаторів, випрямлячів, двигунів, нагрівачів та інших пристроїв.

Не менш важливим є питання обліку й нормування електроенергії. Для електроенергії питомою нормою витрат є величина її витрат на виробництво одиниці продукції. Згідно з принципами термодинаміки в будь-якій системі енергія не може бути переведена лише в корисну роботу, частина енергії безповоротно втрачається. Це повною мірою реалізується в технологічних системах (завод, цех, верстат) і споживана енергія (W), зокрема, електрична складається з двох частин: не залежить від кількості продукції, що випускається, частина, яка мало змінюється та близька до постійного значення (a), а також частина, що залежить від кількості продукції, що випускається (b):

$$W = a + b \cdot A, \quad (11.1)$$

де A – кількість продукції, що випускається.

Вираз для питомої витрати енергії (W / A) явно вказує на економію енергії при збільшенні випуску продукції:

$$\frac{W}{A} = \frac{a}{A} + b. \quad (11.2)$$

Раціональне використання теплової енергії принципово мало має відмінностей від такого для електроенергії. Однак важливе значення набувають питання повноти згоряння палива в котлах, печах й інших

теплових агрегатах, а також питання теплоізоляції та екологічної безпеки димових газів. Крім того, навіть вибір сировинних компонентів у виробництві багатьох матеріалів, що промислово випускаються, грає роль у раціональному використанні теплової енергії. Зокрема, сучасні цементні заводи Німеччини в рецептурі замість вапняків або крейдових порід (з високим вмістом CaCO_3) застосовують шлаки різних підприємств. Шлаки вже пройшли термічну обробку й не потрібно витратити додаткове тепло у високотемпературних процесах декарбонізації. Крім того, оксид кальцію в шлаках міститься у зв'язаному стані, в основному у вигляді простих і складних силікатів, які слугують "напівфабрикатом" при отриманні цементного клінкеру, а отже, скорочуються теплові витрати на синтез цільового продукту. Але найголовніше в тому, що такі цементні заводи отримують істотні економічні дотації згідно з кіотським протоколом за скорочення викидів CO_2 (димові гази та CO_2 вапнякових порід) в атмосферу.

Раціональне використання механічної енергії найчастіше пов'язано з економним витрачанням технологічних рідин і газів, що знаходяться під надлишковим тиском або навпаки – в розрядженому стані. Перепад тисків може бути рушійною силою процесів і на підприємстві можуть ефективно застосовувати власні енергогенеруючі установки, наприклад, вітрові генератори, сільфонні системи для передачі механічних навантажень.

Відомі ефективні приклади використання маси великогабаритних деталей, що знімаються з високорозташованих рівнів для взводу механічних пружин або запасу пружної енергії при стисненні сільфонів з подальшою реалізацією (під час розжимання) в механічну енергію, що приводить в дію транспортерні візки, сортувальні і пакувальні пристосування. Відзначимо, що будь-який з видів енергії шляхом проведення певних технологічних операцій і пристроїв може бути перетворено в інший вид енергії. Відповідно, існують коефіцієнти для переведення одиниць різних видів енергії одна в одну (табл. 11.1).

Таблиця 11.1

Переводні коефіцієнти

№ п/п	Вид енергії	Одиниці	Еквівалент для переведення у				
			електро-енергію, W	теплову енергію, Q	механічну енергію, L	умовне паливо, B	нормальну пару, D _n
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Електро-енергія (W)	кВт	1	860	1,36	0,123	1,344

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Механічна енергія (L)	лс	0,735	632,3	1	$90,4 \cdot 10^{-3}$	0,989
3	Витрата умовного палива (B)	кг	8,141	7000	11,06	1	10,13
4	Витрата нормальної пари (Д _н)	кг	0,744	640	1,011	$91,5 \cdot 10^{-3}$	1

У табл. 11.1 для механічної енергії вказана застаріла одиниця виміру – кінська сила, яка до теперішнього часу широко використовується при визначенні потужності двигунів внутрішнього згорання. Крім того, в якості часто використовуваного теплоносія вказана (табл. 11.1) нормальна пара – водяна пара, що утворюється при кипінні води (100 °С) за нормального тиску (0,1 МПа). Позначення одиниці об'єму такої пари було прийнято ще до введення одиниць вимірювання СІ та прийнято використовувати приставку малу літеру "н" перед одиницями обсягу. Наприклад нм^3 – розмірність одиниці виміру, яка читається "нормальний метр кубічний" (не плутати з нанометром кубічним)". Щільність нормальної пари $\sim 1,14 \text{ кг / м}^3$. Крім того, в якості одного з видів енергії вказано умовне паливо, якого не існує реально. Це поняття виникло також до введення одиниць вимірювання СІ та обумовлено було необхідністю вміти зіставляти теплотворну здатність будь-яких видів палива (дров з різних видів деревини, вугілля різних сортів, нафти, газу, мазуту, торфу та ін.). У результаті міжнародної угоди домовилися вважати умовним паливом таке, яке при згоранні 1 кг забезпечує виділення 7 000 ккал теплової енергії.

Важливо також враховувати, що технологічні й енергетичні процеси роботи верстатів й іншого обладнання взаємопов'язані. Прискорення технологічних процесів збільшує завантаження устаткування, покращує відповідний енергетичний режим, але збільшується також і ризик поломок, швидкість зносу вузлів й агрегатів. Скорочення машинного часу (t_m) обробки заготовок на верстатах і часу "холостого ходу" (t_{xx}) під час роботи таких верстатів є також заходом щодо раціонального використання електроенергії. Досягатися ці цілі можуть шляхом зміни оснастки, передачі

заготовки для виконання певних операцій на інший верстат, суміщенням технологічних операцій на верстаті, одночасною обробкою відразу декількох виробів, підвищенням якості інструменту, автоматизації допоміжних операцій, оптимізації прийомів і методів обробки. Відзначимо, що розрахунок економії електроенергії зазвичай ведуть для варіанту впровадження нового способу обробки деталі на колишньому верстаті або для варіанту передачі обробки на інший верстат. При зміні способу обробки заготовки на колишньому верстаті економія електроенергії (ΔW) досягається за рахунок скорочення t_m при постійній потужності втрат (P_0):

$$\Delta W = P_0 \cdot (t_m - t'_m) \cdot 0,98 \pm \Delta W_{\text{пол}}, \quad (11.3)$$

де t'_m – машинний час при новому способі виробництва;

$\pm \Delta W_{\text{пол}}$ – збільшення або зменшення споживання електроенергії на виконання корисної роботи;

0,98 – емпіричний коефіцієнт збільшення навантажувальних втрат при зміні машинного часу.

11.2. Індивідуальні розрахункові завдання

Розрахункові завдання згруповані в кілька варіантів (табл. 11.2):

1) теплові агрегати цеху споживають X кг умовного палива та коефіцієнт корисної дії (ККД) всіх агрегатів становить Y %. Необхідно визначити яку еквівалентну кількість механічної енергії безпосередньо потрібно витратити для забезпечення теплових агрегатів.

2) термічні процеси в цеху реалізуються за рахунок електронагрівачів, які споживають X кВт · год. ККД електродвигунів Y %, час роботи 10 000 годин. Потрібно знайти еквівалентну кількість умовного палива.

3) обладнання цеху споживає за годину X м³ нормальної пари та характеризується ККД Y %. Якій кількості електроенергії еквівалентна витрата нормальної пари в обладнанні цеху?

4) двигун внутрішнього згоряння забезпечує вироблення механічної енергії Z лс. Визначте відповідні значення електричної енергії й умовного палива.

5) вантаж, масою m кг, необхідно підняти на висоту h м. Якої кількості теплової й електричної енергії буде достатньо для підйому вантажу на задану висоту?

6) Яку кількість електричної енергії можна економити при переході на новий спосіб обробки виробів на колишньому верстаті, якщо машинний

час обробки скоротився з K до L , а споживання електроенергії на виконання корисної роботи залишилося незмінним при постійному значенні потужності втрат холостого ходу верстата n кВт?

7) визначте час обробки виробів на верстаті, якщо при новому способі обробки він дорівнює L . Досягнута економія електроенергії становить значення p кВт, а потужність втрат холостого ходу n кВт.

8) поставлено завдання забезпечити економію електроенергії 1 500 кВт за рахунок підвищення одиничної потужності ламп освітлення. У цеху змонтовано K ламп потужністю L Вт, які планується замінити на f Вт лампи. Час горіння ламп для досягнення запланованої економії прийняти за 1 000 годин.

9) яка кількість електроенергії буде заощаджуватися при заміні 25 ламп потужністю L Вт на K лампи більшої потужності (f Вт) протягом 1 місяця їх горіння?

Таблиця 11.2

Вихідні дані

№ п/п	Варіант	Значення параметрів									
		X	Y	Z	m	h	K	L	n	p	f
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	30 000	70	–	–	–	–	–	–	–	–
2	1	40 000	75	–	–	–	–	–	–	–	–
3	1	50 000	60	–	–	–	–	–	–	–	–
4	2	3 000	30	–	–	–	–	–	–	–	–
5	2	4 000	40	–	–	–	–	–	–	–	–
6	2	5 000	50	–	–	–	–	–	–	–	–
7	3	200	55	–	–	–	–	–	–	–	–
8	3	300	60	–	–	–	–	–	–	–	–
9	3	400	65	–	–	–	–	–	–	–	–
10	4	–	–	150	–	–	–	–	–	–	–
11	4	–	–	250	–	–	–	–	–	–	–
12	4	–	–	1 000	–	–	–	–	–	–	–
13	5	–	–	–	16	20	–	–	–	–	–
14	5	–	–	–	20	30	–	–	–	–	–
15	5	–	–	–	105	20	–	–	–	–	–
16	6	–	–	–	–	–	270	220	0,15	–	–
17	6	–	–	–	–	–	290	275	0,25	–	–
18	6	–	–	–	–	–	330	300	0,35	–	–
19	7	–	–	–	–	–	–	200	0,15	0,2	–
20	7	–	–	–	–	–	–	210	0,25	0,3	–

Таблиця 11.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	7	–	–	–	–	–	–	190	0,35	0,5	–
22	8	–	–	–	–	–	20	60	–	–	300
23	8	–	–	–	–	–	30	100	–	–	500
24	8	–	–	–	–	–	40	150	–	–	500
25	9	–	–	–	–	–	5	200	–	–	300
26	9	–	–	–	–	–	7	150	–	–	300
27	9	–	–	–	–	–	8	100	–	–	300

11.3. Приклад виконання завдання

Нехай студент записаний у журналі групи під № 27 і його індивідуальне завдання передбачає виконати варіант № 9 (табл. 11.2).

Відповідно до завдання є 25 ламп по 100 Вт кожна, тобто загальна спожита кількість електроенергії: $25 \cdot 100 = 2\,500$ (Вт).

Планується змонтувати 8 ламп по 300 Вт кожна, тобто загальна спожита кількість електроенергії: $8 \cdot 300 = 2\,400$ (Вт).

Різниця в споживанні електроенергії становить:

$$2\,500 - 2\,400 = 100 \text{ (Вт)}.$$

Протягом 1 місяця безперервного горіння ламп буде досягтися економія електроенергії (враховуючи, що в місяці 720 годин і годинну потужність ламп): $720 \cdot 100 = 7200$ (Вт) = 7,2 (кВт).

11.4. Запитання для самодіагностики

1. Назвіть основні напрямки раціонального використання електроенергії на підприємствах.
2. Яким чином відображається на споживанні енергії інтенсифікація технологічних процесів?
3. Наведіть приклади використання вторинних енергетичних ресурсів на підприємствах.
4. Чому оптимізація електричних схем енергопостачання раціональна для економії?
5. Наведіть приклади нових рецептурних рішень, що дають ефект в економії енергетичних ресурсів.

6. Чому вміст енергетичного обладнання на відповідному технічному рівні відображається на економіці підприємства?
7. Що прийнято вважати питомою нормою витрат електроенергії на підприємстві?
8. З якою метою повітря для горіння палив у теплові агрегати подається в надлишку щодо стехіометричної кількості?
9. Наведіть приклади раціонального використання тепла димових газів на підприємствах.
10. Що таке умовне паливо?

Рекомендована література

Основна

1. Бондаренко С. І. Матеріалознавство : лабораторний практикум / С. І. Бондаренко, І. В. Дощечкина. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 166 с.
2. Бурлака В. В. Основы теории механизмов и машин: курс лекций : учебн. пособ. / В. В. Бурлака. – Харьков : ХНТУСХ, 2007. – 183 с.
3. Голдин Б. А. Петрогенетика порошков, керамики и композитов / Б. А. Голдин, Ю. И. Рябков, П. В. Истомин. – Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2006. – 267 с.
4. Горелик С. С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С. С. Горелик, М. Я. Дашевский. – Москва : Металлургия, 1988. – 574 с.
5. Горшков В. С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В. С. Горшков, В. Г. Савельев, Н. Ф. Федоров. – Москва : Высшая школа, 1988. – 400 с.
6. Дзядикевич Ю. В. Матеріали в техніці : навч. посіб. для економ. вищих навч. закл. / Ю. В. Дзядикевич. – Тернопіль : Економічна думка, 2009. – 202 с.
7. Дмитриченко М. Ф. Основи матеріалознавства : навч. посіб. / М. Ф. Дмитриченко, В. М. Ткачук, О. В. Мельник. – Київ : НТУ, 2008. – 176 с.
8. Елизаров Ю. Д. Материаловедение для экономистов : учебник / Ю. Д. Елизаров, А. Ф. Шепелев. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 576 с.
9. Йосс Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джозеф. – Москва : Мир, 1983. – 301 с.
10. Козлов Ю. С. Материаловедение : учеб. пособ. / Ю. С. Козлов. – Санкт-Петербург – Москва : Агар, 1999. – 181 с.

11. Кнотько А. В. Химия твердого тела / А. В. Кнотько, К. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. – Москва : Изд. центр "Аркадия", 2006. – 304 с.
12. Колебания и бегущие волны в химических системах / пер. с англ. под ред. Р. Филда, М. Бургера, А. М. Жаботинского. – Москва : Мир, 1988. – 720 с.
13. Логвинков С. М. Основы технологичних систем : навч. посіб. / С. М. Логвинков, О. М. Борисенко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 308 с.
14. Логвинков С. М. Твердофазные реакции обмена в технологии керамики : монография / С. М. Логвинков. – Харьков : Изд. ХНЕУ, 2013. – 248 с.
15. Марченко С. И. Теория механизмов и машин : консп. лекц. / С. И. Марченко, Е. П. Марченко, Н. В. Логинова. – Ростов на Дону : Феникс, 2003. – 252 с.
16. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – Москва : Мир, 1979. – 512 с.
17. Олефинская В. П. Техническая механика: курс лекций / В. П. Олефинская. – Москва : Форум "ИНФРА-М", 2003. – 350 с.
18. Пригожин И. Современная термодинамика / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – Москва : Мир, 2002. – 461 с.
19. Потемкин А. Трехмерное твердотельное моделирование / А. Потемкин. – Москва : Компьютер пресс, 2002. – 294 с.
20. Родимов В. П. Теория механизмов и машин: консп. лекц. / В. П. Родимов, Р. К. Рыжиков. – Москва : Ун-т Дружбы народов, 1989. – 132 с.
21. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум : навч. посіб. / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешакова та ін. – Львів : Світ, 2009. – 551 с.
22. Тютюнников Ю. Б. Системы технологий : учебн. пособ. / Ю. Б. Тютюнников, В. Н. Орехов. – Харьков : Изд. ДОМ "ИНЖЭК", 2004. – 368 с.
23. Физическая химия / К. С. Краснов, Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев и др. ; под ред К. С. Краснова. – В 2-х кн. – Кн. 1. Строение вещества. Термодинамика. – Москва : Высшая школа, 1995. – 512 с. – Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. – Москва : Высшая школа, 1995. – 319 с.
24. Фистуль В. И. Новые материалы. Состояние, проблемы и перспективы / В. И. Фистуль. – Москва : МИСиС, 1995. – 142 с.

25. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1985. – 423 с.

26. Эйген М. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул / М. Эйген, П. Шустер. – Москва : Мир, 1982. – 270 с.

27. Экспериментальная петрология / Е. Н. Граменецкий, А. Р. Котельников, А. М. Батанова и др. – Москва : Научный мир, 2000. – 416 с.

Додаткова

28. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация / М. В. Волькенштейн. – Москва : Наука, 1986. – 192 с.

29. Гладкий Л. И. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Актуальные вопросы физического материаловедения" / Л. И. Гладкий. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2006. – 79 с.

30. Горов Э. Я. Типовой лабораторный практикум по теории механизмов и машин / Э. Я. Горов, С. А. Гайдай, С. В. Лутников. – Москва : Машиностроение, 1990. – 156 с.

31. Зайцев С. А. Допуски, посадки и технология измерения в машиностроении : учебник / С. А. Зайцев, А. Д. Куранов, А. Н. Толстая. – Москва : Академия, 2002. – 238 с.

32. Ивченко В. А. Техническая механика : учебн. пособ. / В. А. Ивченко. – Москва : ИНФРА-М, 2003. – 156 с.

33. Ицкович Г. М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов : учебник / Г. М. Ицкович. – Москва : Высшая школа, 2001. – 592 с.

34. Иванов И. И. Электротехника. Основные положения, примеры и задачи / И. И. Иванов, А. Ф. Лукин, Г. И. Соловьев. – Санкт-Петербург : Изд. "Лань", 2002. – 192 с.

35. Кініцький Я. Т. Практикум із теорії механіки механізмів / Я. Т. Кініцький. – Львів : Афіна, 2002. – 452 с.

36. Кочетов В. Т. Сопротивление материалов : учебн. пособ. / В. Т. Кочетов. – Ростов на Дону : Феникс, 2001. – 366 с.

37. Кравченко Я. С. Примеры выполнения расчетно-графических работ : учебн. пособ. по дисциплине "Взаимозаменяемость, стандартизация и технология измерения" / Я. С. Кравченко. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2007. – 167 с.

38. Лекции по теории графов / В. А. Емеличев, О. И. Мельникова, В. И. Сафронов и др. – Москва : Наука, 1990. – 384 с.

39. Материаловедение : практикум / В. И. Городниченко, Б. Ю. Давиденко, В. А. Исаев и др. – Москва : Логос, 2004. – 266 с.
40. Мовнин М. С. Основы технической механики : учебник / М. С. Мовнин, А. Е. Израелит, А. Г. Рубашкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : ЛО "Машиностроение", 1990. – 288 с.
41. Нефедов Б. К. Катализаторы процессов глубокой переработки нефти / Б. К. Нефедов, Е. Д. Радченко, Р. Р. Алиев. – Москва : Химия, 1992. – 272 с.
42. Никипорец Э. Н. Сборник задач по расчёту и выбору посадок : учебн. пособ. / Э. Н. Никипорец, Л. А. Парамонова, М. Н. Черновский. – Москва : МАИ, 1992. – 62 с.
43. Орехов В. М. Контрольні завдання та методичні рекомендації до їх виконання з навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" / В. М. Орехов. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. – 67 с.
44. Палатник Л. С. Научные основы технологии сплавов и пленочных материалов / Л. С. Палатник. – Харьков : ХПИ, 1987. – 52 с.
45. Палатник Л. С. Физика и химия фазовых превращений / Л. С. Палатник. – Харьков : ХПИ, 1992. – 156 с.
46. Петров Ю. И. Кластеры и малые частицы / Ю. И. Петров. – Москва : Наука, 1986. – 368 с.
47. Пейсахов А. М. Материаловедение и технология конструкционных материалов / А. М. Пейсахов, А. М. Кучер. – Санкт-Петербург : Иван Федоров, 2003. – 430 с.
48. Сборник задач по сопротивлению материалов : учебн. пособ. для вузов / Н. М. Беляев, Л. К. Першин, Б. Е. Мельников и др. – Санкт-Петербург : Иван Федоров, 2003. – 430 с.
49. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебн. пособ. / И. П. Гладкий, В. И. Мощенюк, В. П. Тарабанова. – Харьков : ХНАДУ, 2008. – 473 с.
50. Худокормова Р. Н. Материаловедение: лабораторный практикум / Р. Н. Худокормова, Ф. И. Пантелеенко. – Минск : Вышейша школа, 1988. – 222 с.
51. Чеченев Н. А. Руководство к решению задач по прикладной механике / Н. А. Чеченев, Е. А. Свистунов. – Москва : Машиностроение, 1979. – 80 с.

Зміст

Вступ.....	3
Тема 1. Основні поняття та визначення в технології.....	4
Завдання 1. Уніфікація термінів, символів і одиниць фізичних величин	4
Тема 2. Властивості технологічних систем	14
Завдання 2. Основи симетрії кристалів	14
Завдання 3. Гармонія та симетрія в еволюції природних і штучних систем	23
Тема 3. Явища, на яких базується функціонування технологічних систем	26
Завдання 4. Симетрія чисел. Система переважних чисел в стандартизації	26
Тема 4. Закономірності розвитку технологічних систем.....	39
Завдання 5. Матеріальний й енергетичний баланси технологічних процесів	39
Тема 5. Основи створення ресурсозберігаючих та безвідходних технологій	51
Завдання 6. Вторинні енергетичні ресурси	51
Тема 6. Роль науки в розвитку технологічних систем	63
Завдання 7. Основи технологій переробки палив	63
Тема 7. Пріоритетні напрями технологічного розвитку	79
Завдання 8. Основи хімічної технології органічних волокон	79
Завдання 9. Основи електрохімічних процесів	90
Тема 8. Якість продукції в машинобудуванні	100
Завдання 10. Якість і надійність продукції	100
Тема 9. Техніко-економічне обґрунтування ефективності функціонування технологічних систем	110
Завдання 11. Раціональне використання енергії в технологічних системах	110
Рекомендована література	117
Основна	117
Додаткова	119

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

Практикум
для студентів усіх спеціальностей
першого (бакалаврського) рівня

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Укладачі: **Логвінков** Сергій Михайлович
Борисенко Оксана Миколаївна

Відповідальний за видання *Ю. В. Буц*

Редактор *О. І. Черненко*

Коректор *Н. В. Грінченко*

План 2018 р. Поз. № 175 ЕВ. Обсяг 122 с.

Видавець і виготовлювач – ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 61166, м. Харків, просп. Науки, 9-А

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК № 4853 від 20.02.2015 р.