

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Г. М. Шабанова, І. О. Лаврова, Г. М. Черкашина,
А. М. Миронов, О. М. Борисенко

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ РЕСУРСО-, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
ТА РЕЦИКЛІНГ У ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Навчальний посібник
для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 26 червня 2025 р.

Харків
НТУ «ХП»
2026

УДК 66.01 + 621.311.1:66.013
Т 38

Рецензенти:

С. М. Логвінков, д-р техн. наук, проф., ХНЕУ ім. С. Кузнеця;

Д. А. Плугін, д-р техн. наук, проф., УкрДУЗТ

Т 38 **Технологічні** принципи ресурсо-, енергозбереження та рециклінг у хімічних технологіях : навч. посіб. для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» / Г. М. Шабанова, І. О. Лаврова, Г. М. Черкашина, А. М. Миронов, О. М. Борисенко. – Харків : НТУ «ХП», 2026. – 242 с.

ISBN 968-617-05-0588-0

У навчальному посібнику розглянуто сучасні технологічні принципи ресурсо- та енергозбереження, а також рециклінгу в хімічних технологіях. Значну увагу приділено аналізу ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, оптимізації технологічних процесів, зменшенню енерговитрат та раціональному використанню матеріалів у промисловому виробництві.

Призначено для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія».

Іл. 14. Табл. 17. Бібліогр. 22 назви.

УДК 66.01 + 621.311.1:66.013

© Шабанова Г. М., Лаврова І. О.,
Черкашина Г. М., Миронов А. М.,
Борисенко О. М., 2026

ISBN 978-617-05-0588-0

© НТУ«ХП», 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ГАЛУЗІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	9
1.1. Основні терміни і визначення.....	9
1.2. Еволюція використання енергії та енергетичні кризи.....	10
1.3. Енергозбереження – як наука.....	15
1.4. Енергетичні ресурси планети.....	18
Питання для самоконтролю за розділом 1.....	32
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	34
2.1. Роль паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) у народному господарстві країни.....	34
2.2. Взаємозв'язки ПЕК з різними галузями народного господарства.....	38
2.3. Рівні і завдання оптимізації розвитку ПЕК.....	40
Питання для самоконтролю за розділом 2.....	48
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	50
3.1. Основні напрямки економії енергоресурсів.....	50
3.2. Організаційно-економічні проблеми впровадження енергозберігаючих технологій.....	53
3.3. Прогноз розвитку видобутку та споживання паливно- енергетичних ресурсів.....	54
3.4. Класифікація та енергетичний потенціал відновлювальних джерел енергії.....	63
Питання для самоконтролю за розділом 3.....	68

РОЗДІЛ 4. ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА	
СТАЛИЙ РОЗВИТОК.....	70
4.1. Зміни клімату в розрізі сталого розвитку.....	70
4.2. Основні поняття сталого розвитку.....	73
4.3. Глобальне потепління та зміна клімату.....	77
4.3.1. Регіональні наслідки глобального потепління.....	82
4.4. Пом'якшення змін клімату: проблеми та рішення.....	84
Питання для самоконтролю за розділом 4.....	92
РОЗДІЛ 5. ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ: РЕЦИКЛІНГ ТА	
УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ.....	93
5.1. Визначення та значення рециклінгу.....	93
5.2. Проблеми накопичення та переробки відходів.....	96
5.3. Основні викиди, які утворюються в процесі хімічних	
виробництв.....	98
5.4. Методи очищення викидів хімічних виробництв.....	102
5.4.1. Утилізація рідких відходів.....	108
5.4.2. Утилізація твердих відходів.....	113
5.4.3. Рекуперація відходів.....	117
5.5. Ресурсо- та енергозбереження в хімічних технологіях.....	119
Питання для самоконтролю за розділом 5.....	124
РОЗДІЛ 6. РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА	
РЕЦИКЛІНГ У ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ТУГОПЛАВКИХ	
НЕМЕТАЛЕВИХ І СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	126
6.1. Використання промислових відходів у технології	
тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів.....	126
6.2. Використання відходів металургійної промисловості.....	144
6.3. В'язучі матеріали на основі металургійних шлаків.....	150
6.3.1. Заповнювачі з металургійних шлаків.....	152

6.3.2. Бетони на основі металургійних шлаків.....	157
6.4. Шлакова вата.....	164
6.5. Литі матеріали.....	165
6.6. Шлакоситали.....	166
6.7. Матеріали на основі шламових відходів.....	167
6.8. В'язучі матеріали на основі відходів паливної промисловості та енергетики.....	169
6.9. В'язучі матеріали на основі золошлакових відходів.....	173
6.10. Техногенна сировина для виробництва в'язучих матеріалів спеціального призначення.....	179
6.10.1. Алюмовмісні відходи хімічної промисловості.....	180
6.10.2. Барійвмісні відходи хімічної промисловості.....	182
6.10.3. Кальційвмісні відходи хімічної промисловості.....	183
6.10.4. Каталізатори хімічної промисловості.....	184
Питання для самоконтролю за розділом 6.....	190
РОЗДІЛ 7. РЕЦИКЛІНГ ТА РЕСУРСОЗБЕРГАЮЧА	
ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАСТИЧНИХ МАС.....	191
7.1. Питання для самодіагностики за розділом 7.....	198
РОЗДІЛ 8. РЕСУРСО - І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ	
ОТРИМАННІ СИРОГО БЕНЗОЛУ З КОКСОВОГО ГАЗУ.....	199
8.1. Абсорбція бензольних вуглеводнів із коксового газу.....	199
8.2. Зниження витрат матеріалів та енергії при розробці сучасних абсорберів з регулярними насадками.....	205
Питання для самоконтролю за розділом 8.....	214
РОЗДІЛ 9. РЕСУРСО- Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ	
ВИРОБНИЦТВІ КОКСУ.....	216
9.1. Установки сухого гасіння коксу (УСК).....	216
9.2. Котли-утилізатори в установках сухого гасіння коксу.....	219

9.3. Отримання відновлювального газу на поверхні розпеченого коксу в УСГК.....	223
Питання для самоконтролю за розділом 9.....	230
РОЗДІЛ 10. РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАФТОПЕРЕРОБЦІ.....	
10.1. Сучасні методи енергозбереження в процесах нафтопереробки.....	231
10.2. Оптимізація енергетичних витрат у процесах первинної переробки нафти.....	234
10.3. Зниження енерговитрат у процесах гідроочищення та ізомеризації.....	236
Питання для самоконтролю за розділом 10.....	237
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	239

ВСТУП

Сучасна хімічна промисловість перебуває на етапі кардинальних змін, обумовлених зростаючими потребами суспільства у продукції високої якості, одночасно з необхідністю зменшення енергоспоживання та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Підвищення ефективності використання природних ресурсів і енергії стало ключовим чинником розвитку галузей хімічних технологій, а впровадження принципів сталого розвитку – стратегічним напрямом модернізації виробництва.

Навчальний посібник «Технологічні принципи ресурсо-, енергозбереження та рециклінг у хімічних технологіях» призначений для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» і охоплює комплекс теоретичних та практичних аспектів підвищення ресурсоефективності та енергозбереження в хімічних процесах. У посібнику розглянуто сучасний стан світової та національної енергетики, еволюцію використання енергії та питання енергозбереження як науки, а також організаційно-економічні та екологічні аспекти впровадження енергозберігаючих технологій.

Особлива увага приділяється методам утилізації та рециклінгу відходів, включаючи виробництво тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів, пластмас, коксохімічних продуктів та нафтопереробку. Розглядаються сучасні високотехнологічні рішення, такі як абсорбційні теплові інвертори, компресійні теплові насоси, теплові труби, гвинтові компресори, а також інтегровані схеми теплообміну та оптимізація

технологічних процесів, що дозволяють знизити енергоспоживання, скоротити витрати сировини та зменшити обсяги шкідливих викидів.

Кожен розділ посібника містить питання для самодіагностики, ілюстрації технологічних схем, аналіз ефективності енергозберігаючих рішень та практичні приклади застосування сучасних технологій. Це дозволяє студентам не лише засвоїти фундаментальні принципи енергозбереження та рециклінгу, а й розвинути компетенції щодо практичного використання цих принципів у промислових умовах.

Навчальний посібник поєднує фундаментальні знання з практичними прикладами та сучасними науковими підходами, сприяючи формуванню у майбутніх інженерів комплексного розуміння процесів ресурсозбереження, енергетичної ефективності та екологічної безпеки в хімічній промисловості.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН І СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ГАЛУЗІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1.1. Основні терміни і визначення

Енергозбереження – впровадження правових, організаційних, наукових, виробничих, технічних і економічних заходів спрямованих на зменшення споживання електричної енергії споживачами і на збільшення частки енергії, що споживається від відновлювальних джерел енергії.

Енергоефективність – раціональне використання енергії, що дозволяє перетворювати її параметри і транспортувати до споживача з мінімальними втратами.

Умове паливо – одиниця вимірювання енергоємності органічного палива (нафти, газу, вугілля), яку використовують для порівняння різних видів палива. Як умовне паливо в більшості країн використовують енергетичний еквівалент від спалювання 1 кг кам'яного вугілля, який дорівнює 29,3 МДж або 8,14 кВт·год. Міжнародним енергетичним агентством (ІЕА) за одиницю умовного палива прийнято енергетичний еквівалент від спалювання 1 тони нафти, який дорівнює 41,87 ГДж або 11,63 МВт·год.

Американський нафтовий барель – одиниця об'єму, яку використовують для вимірювання об'єму нафти і становить 159 л.

Відновлювальні джерела енергії – джерела енергії природного походження, запаси яких поновлюються з часом.

Відновлювана енергетика – енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел.

Зелений тариф – економічний механізм, спрямований на заохочення генерації електроенергії відновлюваною енергетикою.

Киотський протокол – міжнародна угода про обмеження викидів в атмосферу парникових газів. Головна мета угоди: стабілізувати рівень концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети.

Енергетична хартія – міжнародна угода, спрямована на подолання економічного розділення європейського континенту. Договір до Енергетичної Хартії грає важливу роль в контексті зусиль зі створення правового поля для глобальної енергетичної безпеки на основі відкритих, конкурентних ринків і принципів стійкого розвитку.

1.2. Еволюція використання енергії та енергетичні кризи

Уся історія розвитку людства тісно пов'язана з історією використання енергії. Усі живі організми використовують енергію в процесі життя й тільки люди, крім внутрішньої енергії, яка використовується для життя як біологічного виду, додатково використовують зовнішню енергію, яка в мільйони раз перевищує внутрішню.

Нинішня промисловість, транспорт, комунальне господарство, житловий фонд, військова техніка, зв'язок та інше використовують величезну кількість зовнішньої енергії. На сьогоднішній день потреби людства в енергії покриваються в основному за рахунок використання мінеральних палив (нафта, газ, вугілля тощо), запаси яких на землі обмежені.

Володіння значними запасами органічних викопних енергоносіїв дасть державі значні економічні й політичні переваги. Разом з тим, будь-яке матеріальне багатство створює й погрози силового перерозподілу енергетичних багатств.

Країни, у яких немає достатньої кількості органічних викопних енергоносіїв, часто зазнають економічному й політичному пресингу.

Мілітаристичні, політичні, інформаційні й інші війни велися й

ведуться заради присвоєння чужої енергії, особливо якщо її концентрація в країні висока. Військові конфлікти останнього часу можуть бути прикладами за переділ, заволодіння або керування чужими джерелами енергії.

Інтенсивне використання органічних викопних енергоресурсів може привести до втрати рівноваги біосфери, зруйнує екосистему й створить загрозу життю на Землі. При збереженні темпів видобутку й використання традиційних джерел енергоресурсів на теперішньому рівні запаси вугілля на планеті будуть використані приблизно за 200 років, нафту – 45 років, газ – 65.

Ще наприкінці XIX століття Менделєєв попереджав, що опалення нафтою рівноцінно опаленню асигнаціями (до речі США законсервувала всі свої нафтові свердловини).

У XXI сторіччі людство ввійшло із чотирма найважливішими світовими взаємозалежними проблемами:

- недостатність енергії;
- виснаження запасів горючих копалин;
- постійно зростаюче забруднення навколишнього середовища;
- збільшення народонаселення планети.

З метою подолання цих проблем працюють багато країн миру (на жаль не всі). Проводяться дослідження для одержання нових джерел енергії, впроваджується альтернативна енергетика, розробляються нові технології використання енергії, широко використовується енергозбереження.

Перш ніж говорити про енергозбереження згадаємо, що таке енергія й розглянемо етапи освоєння енергії людством.

Енергія – це здатність виконувати роботу. Енергія вимірюється в джоулях. Джоуль можна визначити як: роботу, що виконується силою в один Ньютон, під час переміщення тіла на відстань один метр.

У якості більш практичних прикладів можна привести наступні:

- 1 удар серця вимагає енергії в 1 Джоуль;
- щоб підняти температуру одного літра води на 1 градус, необхідно 4 182 Дж;
- мінімальна кількість енергії, що витрачається для приготування 1 чашки кави – 72 000 Дж.

Енергія, крім величини (Дж) може вимірятися в кал, кВт·год, т у. п. (тонна умовного палива).

Щоб порівнювати різні види палива, підсумовувати їхні запаси, оцінювати ефективність використання енергетичних ресурсів і зіставляти показники роботи тепловикористовувального обладнання, застосовують спеціальну умовну одиницю – **умовне паливо**. Його теплота згоряння прийнята рівною 29,33 МДж/кг. Для проведення порівняльних розрахунків зазвичай використовують одиницю виміру **тонна умовного палива**:

$$1 \text{ т у.п.} = 29,33 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 7 \cdot 10^6 \text{ ккал} = 8,12 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Цей показник відповідає гарному малозольному вугіллю, яке іноді називається вугільним еквівалентом. За кордоном для аналізу використовується умовне паливо з теплотою згоряння 41,9 МДж/кг. Цей показник називається нафтовим еквівалентом.

Енергія може існувати в різних видах, включаючи наступні: тепла; електрична; хімічна; механічна; кінетична; потенційна.

Відповідно до першого закону термодинаміки ми знаємо, що енергія не виникає з нічого і не може звернутися в ніщо, вона може лише переходити з одного виду в інший. Тому спалюючи газ, щоб підігріти воду, ми перетворюємо хімічну енергію в теплову енергію води.

Енергія є загальною кількісною характеристикою руху матерії. Фундаментальні закони перетворення енергії досліджує термодинаміка, а перетворення енергії в екологічних системах – біоенергетика (досліджує

процеси в клітках, особинах, екосистемах тощо).

Увесь тривалий процес освоєння енергії людиною можна умовно розділити на п'ять етапів.

I етап (період мускульної енергії, тривав до V–VII ст. до н.е.) – одним із найвидатніших досягнень цього часу стало оволодіння вогнем: спершу люди навчилися підтримувати полум'я, а згодом – добувати його самотійно. Так з'явився й перший енергетичний ресурс – дрова.

II етап (VII – XVII ст.) – пов'язаний із використанням енергії рухомої води та вітру – природних джерел, що завжди були поруч із людиною. Водяне колесо, яке обертається під дією потоку води, має понад двох тисячолітню історію. Водяні та вітряні млини набули широкого поширення, і вже до XI століття їх існували десятки тисяч.

Створювалися прядильні та ткацькі верстати, металевий сільськогосподарський інвентар, лісопильні механізми. Для всього цього була потрібна велика кількість металу. Видобувати руду й вугілля ставало дедалі складніше. Через масове виробництво деревного вугілля вирубувалися величезні площі лісу. Це спричинило першу серйозну екологічну кризу, пов'язану з розвитком промисловості.

Однак ще небезпечнішою виявилася енергетична криза. Новим машинам були потрібні потужні, надійні двигуни, які могли б працювати безперервно, незалежно від місцевості чи пори року, на відміну від водяних та вітряних коліс. Ідея створення такого двигуна давно хвилювала мислителів того часу. Відлунням цієї актуальності стала велика кількість спроб сконструювати вічний двигун. Саме тому рішення Паризької академії (1775 р.) відмовитися від розгляду утопічних проєктів «вічного руху» через їхню не реалістичність було важливим кроком для науки і техніки.

Вихід із середньовічної енергетичної кризи було знайдено завдяки «приборканню русійної сили вогню» – використанню тепла для нагрівання водяної пари та отримання сили стисненої пари. Так розпочався III етап.

III етап (XVIII ст. – початок XX ст.) характеризується дедалі ширшим використанням «рушійної сили вогню» – хімічної енергії палива, накопиченої в давніх біосферах: кам'яного вугілля, нафти, газу, горючих сланців тощо. Точна дата створення першої парової машини невідома, однак офіційно її розробку приписують англійцю Джеймсу Ватту, який удосконалив її у другій половині XVIII століття. Спершу парові двигуни стрімко поширилися в Англії, а згодом – у Європі та Північній Америці. З'явилися перші самохідні вагонетки на рейках – паровози, річками почали курсувати пароплави. Уже в 1838 році два пароплави, що працювали виключно на паровій тязі, перетнули Атлантичний океан. До середини XIX століття парові машини фактично витіснили природні джерела енергії – силу води та вітру. Це був «золотий вік пари».

До середини XIX століття, у зв'язку з експоненційним зростанням економіки та постійним збільшенням потреб в енергетичних потужностях, перед інженерами постало завдання створити нові двигуни з принципово вищою ефективністю. Такими стали парові турбіни та двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Сьогодні парові турбіни досягли високого рівня досконалості, відзначаються значною економічністю й широко застосовуються в сучасній теплоенергетиці. Особливо важливими стали комбіновані парогазові установки (ПГУ), ефективність яких на 20–25 % вища, ніж у найкращих парових енергоблоків. В оптимальних схемах ПГУ з потужними сучасними газовими турбінами уже досягнуто ККД близько 52 %, а проєктні значення сягають 54 %.

Практичне використання двигунів внутрішнього згоряння стало можливим після робіт техніка Отто у 1877 р.: він застосував принцип стискання свіжої газоповітряної суміші в циліндрі та її запалювання. У 1895 р. був створений двигун Дизеля, після чого почалося широке використання рідкого палива в ДВЗ.

У другій половині XIX століття визрівали нові методи перетворення і використання енергії. На початку XX століття електрика стала основним джерелом енергії, засобом її перетворення і передачі. Так розпочався IV етап розвитку енергетики.

IV етап – завдяки відкриттю електрики й, передусім, створенню численних електричних двигунів людство отримало можливість освоїти та енергетично забезпечити майже всі придатні для життя куточки планети. Електрична енергія має суттєві переваги над іншими видами: вона швидко та з мінімальними втратами передається на великі відстані, легко перетворюється в інші форми енергії, а коефіцієнт корисної дії електроперетворювачів може бути дуже високим. Варто зазначити, що близько 80 % світової енергії, значна частина якої надалі перетворюється на електричну на великих теплових електростанціях, виробляється на основі парових турбін з використанням органічного палива – вугілля, нафти та газу.

IV етап також охоплює створення й розвиток атомної енергетики. Цікаво, що навіть на цьому етапі, попри використання атомної енергії, основним робочим середовищем залишається пара. Сучасна атомна електростанція є різновидом теплової – у ній замість спалювання палива в котлах тепло виробляється в ядерному реакторі, а «тепловим носієм» продовжує бути водяна пара. Це означає, що ККД таких станцій, як і раніше, має свої обмеження й не може бути дуже високим.

1.3. Енергозбереження – як наука

Енергозбереження як один із напрямків науки почало активно розвиватися наприкінці XX ст. Інтенсивному розвитку енергозбереження передували дві хвилі енергетичної кризи 70–80-х років минулого століття, усвідомлення людством екологічної небезпеки внаслідок техногенної

діяльності, а також обмеженість природних ресурсів, зокрема органічного палива.

Енергозбереження, як галузь національного господарства та науковий напрямок, охоплює широкий спектр технічних, економічних і політичних проблем.

Слід зазначити, що термін «енергозбереження» не зовсім чітко відображає мету й завдання цього наукового та практичного напрямку діяльності. Більш коректно говорити про ефективне використання енергії. Завдання, що стоїть перед фахівцем у цій сфері, – це розробка методів, технічних рішень та економічних механізмів, які сприяють раціональному використанню енергетичних ресурсів.

Енергетичні ресурси – це об'єкти, в яких зосереджена енергія. Основними джерелами енергії у світі є органічні види палива, запаси яких обмежені й, за оцінками фахівців, можуть бути вичерпані при сучасних інтенсивних методах видобутку за кілька десятиріч.

Поряд із пошуком нових джерел енергії, глобальною проблемою стає визначення шляхів економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) по всьому ланцюжку – від видобутку палива до місць використання його потенційної енергії. Для України ця світова проблема ускладнюється критичними обставинами в економіці. Тому питання економії палива й енергії підняті на найвищий рівень державної політики, що підтверджується Законом України "Про енергозбереження" (від 1 липня 1994 р. №74/94-ВР зі змінами). Згідно з цим Законом: **енергозбереження** – це діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання й ощадливу витрату первинної й перетвореної енергії й природних енергетичних ресурсів у національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних і правових методів.

Кризова ситуація в Україні, пов'язана з переходом до ринкових відносин та значними змінами у видобутку й придбанні палива, динамічно змінює умови існування й розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) країни та зумовлює необхідність вироблення нової енергетичної політики.

Аналіз сучасного стану ПЕР в Україні свідчить про те, що дефіцит власних ресурсів становить майже 50 %. З іншого боку, енергоємність ВВП в Україні у 2 рази вища, ніж у промислово розвинених країнах. Звідси випливає висновок: необхідна планомірна робота, підтримана державою, саме з енергозбереження, а не з переважного розвитку нових енергогенеруючих потужностей.

Відомо, що кВт/год електроенергії, отриманий за рахунок енергозбереження, в 2–4 рази дешевше, ніж на новозбудованому енергоблоці.

Існуючий взаємозв'язок енергетики й економіки виводить на перший план особливу роль економіки енергії на всіх рівнях її виробництва й споживання. Досвід функціонування промислових зон у країнах Східної Європи та світу свідчить про можливість економії на кінцевому етапі використання до 30 % енергоресурсів без додаткових витрат і до 50 % при порівняно невеликих капітальних вкладеннях.

Світова й вітчизняна практика показують, що наразі найбільш дешевим і екологічно чистим «джерелом» енергії є саме енергозбереження. Держава ставить за мету домогтися, щоб приріст потреб у паливі й енергії на 75–80 % задовольнявся за рахунок їх економії.

Серед нових напрямків розвитку енергозберігаючих систем можна виділити: удосконалення традиційних систем теплопостачання; децентралізоване теплопостачання; будівництво малих ТЕЦ (зокрема, на базі сміттєспалювальних заводів); електротеплопостачання; використання

нетрадиційної (альтернативної) енергетики; комбінування енергогенеруючих технологій.

Для позитивного вирішення проблем енергозбереження необхідно: налагодити облік усіх енергоносіїв (енергетичний моніторинг); розглядати проблему в комплексі: від видобутку енергоресурсів до їх використання на робочому місці й у квартирі; виробити систему економічно вигідного реального кредитування (інвестицій) у фінансових структур.

Освоєння основ енергозбереження та енергетичного менеджменту допоможе майбутнім фахівцям вирішувати типові завдання, підвищувати ефективність використання енергії на підприємствах та управляти енергетичним господарством з метою економії енергетичної складової у собівартості продукції.

1.4. Енергетичні ресурси планети

Людина може черпати необхідні для свого існування ресурси лише з природного середовища. Звичайно, розвиток технологій серйозно змінює напрямки, форми й масштаби використання природних ресурсів.

Природні ресурси поділяються на дві категорії:

- поновлювані (відновлювані) ресурси – ресурси, зобов’язані своїм походженням сонячному теплу й світлу, які постійно відновлюються (наприклад, дощова вода, енергія вітру, рослини);
- мінеральні ресурси – ресурси, що є непоправними (не відновлюваними), і їхні земні запаси чітко фіксовані.

Як мінеральні, так і енергетичні ресурси розподілені по території планети вкрай нерівномірно.

Біомаса.

Біомаса є найбільшим джерелом поновлюваної енергії на Землі. Щорічно, завдяки фотосинтезу, утворюється така кількість біомаси, що її

сухий залишок еквівалентний 220 млрд тонн, що приблизно у 10 разів перевищує світову потребу в паливі. Теплота згоряння сухого залишку біомаси в середньому оцінюється в 17,5–20,0 МДж/кг. Для порівняння, вугілля має теплоту згоряння 30–35 МДж/кг. Недоліком біомаси як палива є відносно великий вміст вологи на одиницю сухої ваги порівняно з іншими видами палива. Позитивною якістю є мала кількість золи, що утворюється при спалюванні, і можливість використання її як добрива. Крім зазначених якостей, існує ще низка проблем, пов'язаних із виробництвом і спалюванням біомаси, з яких найбільш важливими є зміна водного режиму й кількість викидів CO₂ при порушенні балансу в процесі відтворення або спалювання біомаси. Ці проблеми ретельно вивчаються. Одним із важливих результатів таких досліджень є висновок, до якого прийшли незалежні експерти європейських країн і США: спалювання біомаси в цілому не порушує баланс CO₂, тому що вважається, що під час свого росту зелені насадження поглинули таку ж або навіть більшу кількість CO₂ з атмосфери.

Енергетичний потенціал біомаси в Україні представлений такими складовими: енергетичний потенціал тваринницької й рослинної сільськогосподарської біомаси, а також енергетичний потенціал лісових відходів. Річний потенціал тваринницької біомаси (гній – 335 млн т) у перерахунку на біогаз становить 16 706 млн м³ (у перерахунку на органічне паливо – 13 373 тис. т у. п.).

Річний потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси (зернобобових, соняшника, кукурудзи, овочів) у перерахунку на електроенергію становить 112 094 тис. МВт·год. Річний енергетичний потенціал відходів лісу у вигляді палива (585,4 тис. м³) становить 114,9 тис. т у.п.

Основними технологіями переробки біомаси є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація (біогаз), вироблення спиртів і масел для одержання моторного палива.

Горючі корисні копалини.

На сьогоднішній день ми навчилися використовувати тільки три види горючих копалин: вугілля, нафту й природний газ, які постачають понад 90 % світової енергії.

Якщо розглянути структуру запасів енергетичних видів сировини в Україні, то вона виглядає наступним чином: вугілля – 85,2 %, уран – 9,8 %, газ – 4,1 %, нафта – 0,9 %.

Торф і вугілля. Ці види горючих копалин утворюються із залишків прісноводних рослин. Найдавніші родовища вугілля, вік яких 350 млн років, відомі в Канадській Арктиці. Найважливіший період вуглеутворення в історії Землі припадає на інтервал 350–250 млн років тому. Вугленосні відкладення, що формувалися в цей проміжок часу, виявлені на всіх континентах, але найбільші товщі відкладаються в Північній Америці, Європі й Азії.

Геологи вважають, що більша частина головних вугільних басейнів уже відкрита. Світові видобувні запаси вугілля оцінені в 909 млрд тонн станом на 2002 рік. В історичному плані оцінки світових запасів вугілля порівняно стабільні, але постійно зменшуються з 1 059 млрд т на початку 90-х до 909 млрд т у 2002 р. Переоцінка, в першу чергу, відображає більш жорсткі й обмежувальні критерії щодо глибини залягання й потужності шарів для відкритих і підземних робіт.

Географічний розподіл видобувних запасів вугілля на Землі досить нерівномірний. 57 % світових запасів сконцентровано у трьох країнах: США, Росія, Китай. Ще 33 % вугілля припадає на шість країн: Індію, Австралію, ПАР, Україну, Казахстан і Югославію. За даними на 2002 р., на 9 країн припадає 90 % усіх світових видобувних запасів вугілля.

Світові геологічні запаси кам'яного вугілля обліковуються декількома міжнародними організаціями на основі різних, важко

порівнянних, параметрів, що призводить до різних підсумків, які коливаються від 8 до 16 трлн т (включено й додаткові ресурси: глибина залягання понад 2 000 м і товщина шару менше 0,3 м).

Поклади в Україні за розвіданими запасами кам'яного вугілля становить 54 млрд т. Україна посідає друге місце в Європі й сьоме у світі. Основні запаси сконцентровані в Донецькому басейні. Проблеми: глибоке залягання (понад 1200 м), мала потужність шарів (0,5–2 м), великий кут нахилу й висока газоносність. Звідси дорогий і небезпечний видобуток.

Поклади торфу в Україні розташовані переважно в північних областях, у річкових долинах на Поліссі й Лісостепу. Налічується 2 500 невеликих родовищ. Торф в основному використовується в сільському господарстві й незначно як паливо.

Нафта й природний газ. Нафта й природний газ, подібно до вугілля, формуються в осадових породах і складаються головним чином із хімічних сполук, відомих як вуглеводні.

Компоненти нафти й газу, що утворилися одними з перших, мають високі молекулярні маси і подібні до компонентів твердого матеріалу, з якого вони походять. Ці початкові форми являють собою дуже в'язкі (грузлі) нафти. У міру зростання температури й тиску великі молекули безперервно руйнуються (піддаються крекінгу), перетворюючись на більш легкі й більш рухливі. Незважаючи на ці значні зміни, елементарний хімічний склад нафти й природного газу змінюється не сильно і залишається в межах порівняно вузького діапазону хімічних сумішей (див. табл. 1.1).

Енергетичний еквівалент оцінених потенційних ресурсів нафти становить $1,5 \cdot 10^{22}$ Дж и газа $1,1 \cdot 10^{22}$ Дж.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад нафти та природного газу

Елемент	Нафта, %	Природний газ, %
Вуглець	82,2–87,0	65,0–80,0
Водень	11,7–14,7	1,0–25,0
Сірка	0,1–5,5	Сліди – 0,2
Азот	0,1–1,5	1,0–15,0
Кисень	0,1–4,5	–

З наявних відомостей про ресурси нафти й газу можна вивести ряд важливих висновків:

по-перше, ресурси нафти й газу, так само як і вугілля поширені на земній кулі дуже нерівномірно;

по-друге, регіони, які зараз є головними виробниками нафти й газу, мають і найбільший потенціал для нових відкриттів;

по-третє, при збереженні існуючої швидкості росту споживання, усі ресурси нафти й газу можуть вичерпатися через кілька десятиліть.

Коли зі свердловини викачується нафта, не менше 60 % її первісної кількості зазвичай залишається в надрах. Особливо в'язка нафта називається важкою, або більш звично – бітумом чи гудроном. Багато гудронів настільки в'язкі (грузлі), що можуть видобуватися лише шахтним способом з подальшою переробкою на поверхні.

У світі відкрито досить великі поклади бітумінозних пісків (зокрема, у Канаді, США, країнах СНД, Венесуелі). На думку багатьох фахівців, потенціал важкої нафти та бітумінозних пісків приблизно дорівнюватиме потенціалу традиційної сирої нафти разом із природним газом. Однак їхній видобуток вимагатиме принципово нових, більш енергоємних технологій.

На території України можна виділити наступні нафтогазоносні регіони: східний (Дніпровсько-Донецька западина й північно-західна частина Донбасу); західний (Волинсько-Подільська плита, Прикарпаття й

Закарпаття); південний (Причорномор'я, Крим і границі виняткової (морський) економічної зон Чорного й Азовського морів).

Державним балансом України враховані запаси нафти, газу й газового конденсату за 323 родовищами: 138 283 тис. т нафти, 1 117 936 млн м³ газу та 79 483 тис. т конденсату. Основна кількість родовищ 191 шт. розташовується в Східному регіоні, 9 – у Західному, і 36 – у Південному.

Щорічний видобуток вуглеводнів за останні роки становить у середньому 4 млн т нафти й конденсату та 18–20 млрд м³ газу, що покриває приблизно 10 % та 20 % від потреби країни відповідно.

Невирішеною проблемою залишається збільшення коефіцієнта вилучення нафти. На родовищах Дніпровсько-Донецької западини рівень вилучення нафти сягнув лише 30 % (проти 45,5 % проєктних), а в Прикарпатському прогині – 16,4 % (проти 22,6 % проєктних). Обсяги залишкових геологічних запасів нафти в Україні становлять понад 800 млн т. Збільшення вилучення лише на 1 % дає змогу одержати додатково 8 млн т нафти.

Необхідно відзначити, що Україна володіє величезними обсягами нетрадиційних джерел вуглеводнів. Так, обсяги шахтного метану становлять 11 трлн м³, а природного газу в газогідратах Чорного моря – 7–10 трлн м³.

Одним із викопних органічних палив є горючі сланці, ресурси яких перевищують навіть вугільні, хоча більша їхня частина навряд чи буде освоюватися. Якщо органічний матеріал, що міститься у всіх сланцях світу, перетворити й використати як паливо, то такі ресурси могли б забезпечити, щонайменше, 1 026 Дж енергії, а можливо, й більше.

При переробці сланців витрачається енергія на їх видобуток і нагрівання. На переробку 1 т сланців потрібно стільки ж енергії, скільки виділяється при спалюванні 40 л нафти або еквівалентної кількості газу. Тому звичайні сланці не можуть розглядатися як потенційний енергетичний

ресурс, поки не будуть знайдені нові або вдосконалені способи отримання енергії з цих порід. Безсумнівний інтерес становлять лише ті сланці, які при переробці 1 т сировини дають понад 40 л нафтового еквівалента. Більші родовища таких сланців, розташовані в Естонії, дають 320 л нафтового еквівалента на 1 т сировини.

Загальні потенційні ресурси горючих сланців у світі оцінюються в 650 трлн т (26 трлн т сланцевої смоли). Основні запаси – близько 430–450 трлн т (24–25 трлн т сланцевої смоли) – зосереджені в США (штати Колорадо, Юта, Вайомінг) і пов'язані з формацією Грін-Ривер. Великі запаси горючих сланців є також у Бразилії та Китаї; менші – у Болгарії, Україні, Великобританії, Німеччині, Франції, Іспанії, Австрії, Канаді, Австралії, Італії, Швеції та на території колишньої Югославії.

В Україні дослідження з визначення геологічної будови та запасів родовищ сланців тривають. Зокрема, родовища, такі як Болтинське (Кіровоградська обл.) – 3,4 млрд т, а також Карпатські сланцеві родовища (1 500 млрд т), свідчать про перспективи використання цього нетрадиційного джерела енергії. Величезні запаси сланців зосереджені на Юзівському майданчику (Харківська та Донецька обл.).

Енергія сонця, припливи, тепло Землі.

Не слід вводити себе в оману тим фактом, що загальний ресурс усіх видів горючих копалин у кількісному вираженні виглядає дуже великим. По-перше, слід зазначити, що основна частина цієї кількості належить до потенційних ресурсів, які ще необхідно навчитися ефективно використовувати. По-друге, нафта й газ – два види палива, що викликають найбільший інтерес, мають досить обмежені запаси. Саме їх видобуток і переробка є найбільш економічними з точки зору витрат робочої сили та впливу на навколишнє середовище.

Широкомасштабний перехід на інші види палива неминуче

супроводжуватиметься підвищенням цін та виникненням нових проблем, таких як руйнування земель у зв'язку з гірничими роботами великого масштабу та необхідність розвитку нових і більших транспортних систем.

Виходячи з цього, можна зробити очевидний висновок: необхідно дедалі більше звертатися до джерел енергії, використання яких не потребує переробки надр і спалювання горючих копалин. Частково ми вже одержуємо енергію з таких джерел, як гідроелектростанції, атомні станції, сонячна енергія, припливи, вітер та тепло Землі. Проте на їхню частку припадає лише приблизно 10 % використовуваної енергії.

На поверхню Землі енергія надходить із трьох джерел.

Перше джерело енергії – це *кінетична енергія обертання Землі*, частково доступна для нас завдяки океанічним припливам, які є постійним гальмом, що сповільнює обертання планети.

Припливи виникають під впливом гравітаційного притягання Місяця й Сонця. Вони є поновлюваними джерелами енергії й для практичних цілей мають достатній потенціал (приблизно $2,7 \cdot 10^{12}$ Вт), хоча в порівнянні з іншими джерелами їхні ресурси відносно невеликі. На Землі існує багато місць (Англія, Канада, США, Франція, Китай, Індія, Норвегія, Південна Корея), де можуть ефективно працювати приливні електростанції.

Найвищі припливи у світі спостерігаються в бухті Фанді (15,6–18,0 м) на східному узбережжі Канади. На Європейському континенті максимальні припливи (до 13,5 м) спостерігаються в Бретані, у місті Сен-Мало на північно-західному узбережжі Франції. Висота морського припливу залежить від конфігурації берегів, температури та солоності води, а також кліматичних умов.

Найбільші й сильніші приливні хвилі формуються в дрібних і вузьких затоках або в гирлах річок, що впадають у моря й океани. Наприклад, приливна хвиля Індійського океану йде проти течії Гангу на відстані 250 км від його гирла, а приливна хвиля Атлантичного океану рухається на 900 км

угору по Амазонці. У закритих морях, наприклад у Чорному морі, припливні хвилі досягають лише 60–70 см.

Для ефективного використання приливної енергії найкращими є місця на морському узбережжі, де припливи мають велику амплітуду, а контур і рельєф берега дозволяють створювати великі замкнені «басейни».

Теоретичний енергетичний потенціал припливів оцінюється в 2 500–4 000 ГВт, що порівняно з технічно можливим річковим енергетичним потенціалом (4 000 ГВт). Реалізація планів використання приливної енергії передбачена у 139 точках узбережжя Світового океану з очікуваним виробленням 2 037 ТВт·год/рік, що становить близько 12 % сучасного світового енергоспоживання.

Недоліки приливних електростанцій (ПЕС):

- ПЕС (особливо гребельні) дорогі й можуть бути побудовані тільки в певних місцях;
- під час штормів (для підводних ПЕС) виникає потужний натиск води, а гідрогенератори, здатні його витримати, коштують дуже дорого;
- максимальна потужність ПЕС доступна лише 4–5 годин на добу з перервами 1–2 години чотири рази на день;
- екологічні наслідки, пов'язані зі зміною флори й фауни регіону (особливо для гребельних станцій);
- необхідність інтеграції ПЕС в єдину енергосистему через переривчастий потік енергії.

Позитивні аспекти:

- оновлюваний та безпечний вид енергії;
- можливість використання гребель як мостів.
- вартість капітальних вкладень у нові ПЕС сьогодні зрівнялася з будівництвом нових ГЕС, з тенденцією зниження вартості на користь ПЕС (особливо підводних).
- собівартість виробництва 1 кВт·год електроенергії з часом стає

дешевшою за традиційні види енергії.

Друге джерело енергії – це *енергія земних надр*, яка надходить на поверхню Землі у вигляді тепла, зазвичай званого геотермальним. Частина цього тепла пов'язана з процесами, що відбувалися під час формування планети мільярди років тому, а високі температури всередині Землі сьогодні підтримуються теплом, яке виділяється при спонтанному розпаді природних радіоактивних елементів, таких як уран і торій.

Господарське використання геотермальних джерел поширене в Ісландії, Новій Зеландії, Італії, Франції, Литві, Мексиці, Нікарагуа, Коста-Риці, Філіппінах, Індонезії, Китаї, Японії та Кенії.

Головна перевага геотермальної енергії – її практична невичерпність і повна незалежність від погодних умов, часу доби та року.

Існують різні способи використання тепла земних глибин. Воду або суміш води й пари, залежно від температури, можна застосовувати для гарячого водопостачання, теплопостачання та вироблення електроенергії, або одночасно для всіх цих цілей. Високотемпературне тепло околівулканічних районів і сухих гірських порід переважно використовують для виробництва електроенергії й теплопостачання. У регіонах із джерелами підземних термальних вод доцільно їх застосовувати для гарячого водопостачання та опалення.

Головною проблемою використання підземних термальних вод є необхідність зворотного накачування відпрацьованої води в водоносний горизонт. Термальні води містять значну кількість солей і токсичних металів (бор, свинець, цинк, кадмій, миш'як) та хімічних сполук (аміак, феноли), що виключає їхнє скидання у природні водні системи.

Найбільший інтерес становлять високотемпературні термальні води або виходи пари, які можна використовувати для виробництва електроенергії та теплопостачання.

Потенційна сумарна потужність геотермальних електростанцій у світі

менша, ніж у більшості інших поновлюваних джерел енергії. Проте цей напрямок розвивається в окремих регіонах через дорожнечу інших енергоресурсів та завдяки урядовим програмам.

Установлена потужність геотермальних електростанцій у світі на кінець 2008 р. становила 10,5 тис. МВт, а в 2010 р. – 10 709 МВт. Найбільшими виробниками геотермальної електроенергії є: США – 3 086 МВт, Філіппіни – 1 904 МВт, Індонезія – 1 197 МВт, Мексика – 958 МВт, Італія – 843 МВт, Нова Зеландія – 628 МВт, Ісландія – 757 МВт, Японія – 536 МВт, Сальвадор – 204 МВт, Кенія – 167 МВт, Коста-Рика – 166 МВт, Нікарагуа – 88 МВт.

Частка геотермальної електроенергії у загальному виробництві електроенергії в окремих країнах становить від 10 до 30 %: Нікарагуа – 10 %, Коста-Рика – 14 %, Кенія – 11,2 %, Сальвадор – 14 %, Нова Зеландія – 10 %, Філіппіни – 27 %, Ісландія – 30 %.

Одним із найбільших виробників геотермальної енергії є Ізраїль, що тісно співпрацює зі США. За деякими даними, геотермальна енергія забезпечує електрикою близько 500 тис. жителів.

Геотермальні ресурси України включають термальні води та тепло нагрітих сухих гірських порід. До перспективних для промислового використання належать також нагріті підземні води, що виводяться разом із нафтою й газом діючими свердловинами.

Загальний потенціал геотермальної енергії України оцінюється в $438 \cdot 10^9$ кВт·год на рік, що еквівалентно $50 \cdot 10^6$ т умовного палива.

Основним ресурсом для використання є геотермальні води, прогнозований енергетичний потенціал яких становить 47 574,6 МВт із річною економією 32 601 тис. т у.т. По території України потенціал геотермальних вод розподіляється наступним чином: Запорізька обл. – 490 МВт, Миколаївська обл. – 28 20 МВт, Одеська обл. – 2 350 МВт, Херсонська обл. – 4 230 МВт, АР Крим – 37 600 МВт, Чернігівська обл. –

53,3 МВт, Сумська обл. – 15,8 МВт, Полтавська обл. – 9,2 МВт, Харківська обл. – 1,3 МВт.

Третє джерело енергії – це **Сонце**, яке надсилає на поверхню Землі тепло та світло. Щодня на Землю надходить близько $1,5 \cdot 10^{22}$ Дж енергії, або $17,3 \cdot 10^{16}$ Вт.

Сонячна енергія має унікальні властивості: вона поновлювана, екологічно чиста, керована, а за величиною перевищує всю енергію, яку ми використовуємо сьогодні, у тисячі разів.

Вже винайдено багато обладнання для використання сонячної енергії, але більшість із нього або неефективне, або капіталоемне. Один із ключових напрямів розвитку – створення високоефективних сонячних батарей, у яких сонячна енергія перетворюється безпосередньо на електричну.

Рух води, зумовлений сонячною енергією, також є поновлюваним ресурсом. Сонце діє як гігантський насос, що випаровує воду з морів та океанів і переносить її на сушу, звідки вода знову стікає у моря. Приблизно 23 % сонячної енергії витрачається на випаровування води, яка потім випадає у вигляді опадів.

Серед усіх поновлюваних джерел енергії найбільш активно використовується сила води, причому рівень її використання у Північній півкулі вже знаходиться на межі розумного (припустимого) рівня. Найбільший незадіяний потенціал водяної енергії характерний для Південної Америки та Африки.

Енергія вітру й енергія океану.

Приблизно 46 % сонячної енергії, що надходить на Землю, поглинається океанами, сушею та атмосферою. Ця енергія не тільки формує вітри, хвилі та океанічні течії, але й нагріває моря й впливає на кліматичні коливання. Принаймні частину цієї енергії можна розглядати як потенційний ресурс. Стійкі приповерхневі вітри мають потужність близько

10^{12} Вт. Багато експертів прогнозують відродження вітроенергетики та інших дрібних енергоустановок на новому технічному рівні. На жаль, потужні вітрові установки можуть негативно впливати на навколишнє середовище (шум).

У відкритому океані сонячні промені нагрівають переважно його поверхню, створюючи температурний градієнт у товщі води, який становить близько $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 1 000 м. Якщо ефективність енергоустановки, що працює на зазначеному температурному перепаді, складе хоча б 1 %, то потенціал термальної енергії океану перевищить потенціал усіх горючих копалин.

Ще одним проявом сонячної енергії є потужні поверхневі течії. Наприклад, механічна потужність течії Гольфстрім становить $2,2 \cdot 10^{14}$ Вт. Об'єм води, що переноситься Гольфстрімом при виході в океан із Флоридської протоки, у 20 разів перевищує витрату всіх річок Землі – близько 25 млн м^3 на секунду. Циркуляція Західних Вітрів (Антарктичне, Циркулеполярне) переміщує близько 250 млн м^3 води на секунду, що в 10 разів більше за Гольфстрім.

Ще одним наслідком сонячної енергії є хвилі, які виникають під дією вітру над океанами. Енергія хвиль у багато тисяч разів перевищує енергію припливів.

Енергія розподілу ядер.

Ядерна енергія утворюється в результаті процесів, вперше розшифрованих Альбертом Ейнштейном у 1905 р., який показав, що матерія та енергія можуть перетворюватися одна в одну. Атомні ядра складаються з нейтронів і протонів, і розпад ядра на складові частини можливий лише за допомогою енергії, достатньої для «заміни» відсутньої маси. Енергія зв'язку ядра змінюється залежно від числа протонів і нейтронів.

Вивільнити атомну енергію можна двома способами:

- ядерний синтез – злиття легких елементів (водень, літій) з

утворенням більш важких (гелій). Цей процес відбувається на Сонці та в водневій бомбі;

- ядерний розпад (фісія) – розпад важких елементів, таких як уран і торій. Він реалізується в атомних бомбах і на атомних електростанціях. Природною здатністю до розпаду володіє тільки уран-235, який становить лише 0,7 % від загальної кількості природного урану. Ланцюгова ядерна реакція урану-235 була вперше здійснена проф. Енріко Фермі 2 грудня 1942 р.

Вартість виділення урану-235 та його переробки висока. Проте при розпаді одного атома урану-235 виділяється $3,2 \cdot 10^{11}$ Дж енергії. У 1 г урану-235 міститься приблизно $2,56 \cdot 10^{21}$ атомів, що при розпаді дає близько $8,19 \cdot 10^{10}$ Дж – еквівалент енергії, яку можна отримати при спалюванні 2,7 т вугілля. На жаль, розвідані ресурси урану не такі великі, як очікувалося, а виробництво уранового палива значно дорожче за видобуток нафти та газу. Будівництво АЕС потребує великих капіталовкладень, а також серйозних заходів безпеки та утилізації радіоактивних відходів.

Найбільша кількість енергії виділяється при злитті атомів водню в гелій – приблизно $7,9 \cdot 10^{13}$ Дж на атом. У морській воді кожен кубічний сантиметр містить близько 10^{16} атомів дейтерію. Потенційна енергія синтезу всього дейтерію в океані оцінюється в $10,7 \cdot 10^{27}$ Дж. Враховуючи, що на кожен атом дейтерію припадає 6500 атомів водню, синтез водню відкриває величезні перспективи енергетичного забезпечення, що робить його об'єктом інтенсивних досліджень.

Сьогодні ми все частіше говоримо про «енергетичну кризу», під якою розуміють не дефіцит енергії як такої, а дефіцит палива. Це зумовлено надмірною залежністю від двох недостатньо розповсюджених видів недорогих копалин – нафти та природного газу. Існує багато альтернатив, але їх використання пов'язане з великими капіталовкладеннями та потенційним збільшенням забруднення навколишнього середовища.

Одним із напрямків пом'якшення наслідків енергетичної кризи є

енергозбереження. Реалізація цих заходів входить у сферу діяльності енергоменеджера. Вихід із критичної ситуації передбачає два етапи: підготовка умов для широкого переходу економіки на енергозберігаючий шлях розвитку; підвищення енергоефективності шляхом інтенсивного енергозбереження та прискорення науково-технічного прогресу.

Завдяки цьому загальна потреба країни в паливно-енергетичних ресурсах може бути знижена на десятки й навіть сотні мільйонів тонн умовного палива. Більше половини цього скорочення має забезпечуватися за рахунок зменшення питомих витрат і інших заходів економії.

Наприклад, у Швеції реалізація однієї з програм енергозбереження дозволила знизити питоме енергоспоживання на 30 % у індивідуальних будинках і на 20 % у багатоквартирних будівлях.

Питання для самоконтролю за розділом 1

1. У яких умовах і коли почав активно розвиватися напрямок енергозбереження як наука?
2. Чим енергозбереження відрізняється від ефективного використання енергії?
3. Назвіть основні завдання фахівця в сфері енергозбереження.
4. Які основні джерела енергії у світі та чому їх запаси обмежені?
5. Які нові напрямки розвитку енергозберігаючих систем виділяють у сучасній практиці?
6. Які переваги та проблеми використання біомаси як джерела енергії?
7. Поясніть структуру запасів енергетичних ресурсів в Україні (вугілля, нафта, газ, уран).
8. Які основні способи переробки біомаси та їхня енергетична ефективність?
9. Що таке нетрадиційні джерела енергії та які приклади наведені для України?

10. Назвіть основні переваги та недоліки використання енергії сонця, вітру, припливів і геотермальної енергії.

11. Поясніть різницю між ядерним синтезом і ядерним розпадом як способами отримання енергії.

12. Які глобальні проблеми виникають у зв'язку з інтенсивним використанням органічних викопних палив?

13. Як енергозбереження може допомогти пом'якшити наслідки енергетичної кризи?

14. Наведіть приклад конкретної країни, де заходи енергозбереження дали значне зниження споживання енергії.

15. Які переваги та недоліки використання геотермальної енергії порівняно з іншими поновлюваними джерелами енергії?

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2.1. Роль паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) у народному господарстві країни

Паливно-енергетичний комплекс належить до числа найбільш великих і чітко виражених народногосподарських комплексів. Він поєднує вугільну, нафтову, нафтопереробну, газову, торф'яну, сланцеву промисловість, електро- і теплоенергетику, включаючи підприємства для виробництва ядерного пального, розподільні електричні мережі і трубопроводи, енерго- і паливозбутові організації та фірми.

Об'єктивна необхідність об'єднання всіх цих галузей зумовлюється такими основними факторами:

- широкою взаємозамінністю різних видів палива й енергії у споживачів і на головних стадіях перетворення енергії;
- комбінованим характером багатьох енергетичних процесів;
- взаємозв'язком режимів роботи різних типів енергетичних об'єктів;
- необхідністю взаємного резервування галузей паливної промисловості.

ПЕК становить собою єдину систему енергопостачання, головна мета якої – ефективно і надійно забезпечення всіх потреб народного господарства енергією необхідної якості. Це обумовлює його тісні зв'язки з структурою, масштабами і темпами розвитку економіки стосовно як загальних обсягів виробництва енергії, так і окремих енергоносіїв.

Основні вимоги прогресуючої економіки нашої країни до ПЕК формують такі важливі тенденції енергоспоживання:

- підвищення потенціалу енергії у споживачів (тобто частки енергії, що витрачається на силові, високотемпературні і фізико-хімічні процеси

тощо) як результат науково-технічного процесу і підвищення технічного рівня усіх видів виробництв, технологій, автоматизації і т.п.

- постійне збільшення частки електроенергії в загальному результаті споживання усіх видів енергії, що зумовлюється особливою роллю електрифікації в підвищенні продуктивності праці, розвитку нових технологій, поліпшенні якості життя;

- збільшення частки перетворених видів енергії у витраті всіх енергетичних ресурсів як результат електрифікації й удосконалювання технологій процесів споживання тепла шляхом застосування пари і гарячої води замість установок прямого використання палива;

- зниження кількості споживаних енергетичних ресурсів на одиницю національного доходу, що становить основу державної політики енергозбереження.

Важливо відзначити, що зв'язки ПЕК по галузях народного господарства і по споживаній енергії диктують внутрішню структуру комплексу. Така структура формується під впливом величини запасів окремих видів паливно-енергетичних ресурсів, техніко-економічних показників їхнього видобутку, транспортування, перетворення і використання, розмірів інвестицій і кредитування. У свою чергу, структура ПЕК і темпи його розвитку впливають на розвиток і розміщення окремих виробництв, на темпи і пропорції росту економіки країни в цілому і її регіонів. Ступінь впливу енергетики на окремі виробництва залежить від величини енергетичної складової собівартості їхньої продукції. Вона найбільш значна в металургії, промисловості будівельних матеріалів, у хімічній промисловості і на транспорті. Економіка і розміщення підприємств саме цих галузей особливо чутливі до зміни вартості палива й енергії.

Відносно впливу розвитку ПЕК на інші галузі через споживання їхньої продукції чи послуг, то він виявляється в найбільшій мірі не при

експлуатації, а при капітальному будівництві енергетичних об'єктів і виборі їхньої потужності.

Відзначимо, що частка продукції чорної металургії, хімії, машинобудування й інших галузей промисловості в поточних матеріальних витратах ПЕК становить до 10 %. Тут основна частина витрат припадає на паливо й енергію (до 60 %) і послуги транспорту. З іншого боку, ПЕК є найбільш капіталомістким і фондоємним із усіх функціонально-галузових комплексів. У деяких країнах на його розвиток витрачається більш 1/3 капіталовкладень, спрямованих у промисловість. Якщо ж врахувати непрямі капіталовкладення (це витрати на додатковий розвиток неенергетичних виробництв, що забезпечують функціонування і розвиток ПЕК) і витрати на розвиток енергетичного господарства споживачів, то ця величина майже подвоїться.

ПЕК – це великий споживач продукції багатьох галузей промисловості. На його функціонування і розвиток витрачається до 6–8 % валової продукції машинобудування; 10–12 % продукції чорної металургії; 11–13% будівельних матеріалів. З урахуванням же матеріальних витрат у сполучених галузях частка ПЕК у споживанні промислової продукції збільшується в 2–4 рази. У перспективі в зв'язку з очікуваним підвищенням капіталоемності енергетичного виробництва вплив ПЕК на розвиток металургії, машинобудування, проміндустрії ще більш зросте.

ПЕК має великий вплив на економіку й у розвинених країнах. У країнах Західної Європи і Японії відчувається сильна залежність економічного стану від ситуації на світовому енергетичному ринку і виникають досить загальні енергетичні проблеми. Зміни в структурі енергетичного балансу Західної Європи і Японії (6 %) показані в табл. 2.1 (за сценарієм ICA).

Таблиця 2.1 – Зміна структури енергетичного балансу Західної Європи і Японії (%)

Паливо та енергія	1950 р.	1975 р.	2000 р.	2030 р.
Нафта	12,3	57,0	42,0	23,0
Природний газ	0,1	12,0	9,0	8,0
Вугілля	84,7	27,0	18,0	25,0
Ядерна енергія	–	2,0	26,0	39,0
Гідро- та інші види енергії	2,9	2,0	5,0	5,0
Усього	100,0	100,0	100,0	100,0
В млрд т у.п.	0,7	2,1	4,8	8,1
У тому числі імпорт	0,2	1,7	1,9	2,4

З табл. 2.1 видно, що більш 60 % потреб в енергоресурсах Західної Європи і 91 % потреб Японії покривається імпортом, головним чином, рідкого палива. Частка нафти в енергетичному балансі країн розглянутого району в 1975 р. досягла 57 %, хоча в 1950 р. вона складала всього 12 %. Характерно, що на початку 50-х років енергопостачання базувалося в основному на вугіллі і майже на 90 % забезпечувалося власними енергоресурсами.

Надалі корінні зміни в енергетичному балансі Західної Європи і Японії пояснюються швидким ростом потреб в енергії (5 % на рік), викликаним високими темпами економічного розвитку і неконкурентноздатністю власних енергоресурсів відносно дешевої арабської нафти. При цьому перебудова енергетичного балансу не потребувала великих капіталовкладень в енергетичну базу, а була забезпечена збільшенням експорту промислових товарів для компенсації втрат палива. В умовах низьких цін на енергоресурси, що існували до недавнього часу, і відносно високих на машини й устаткування такий зовнішньоторговельний обмін був вигідний економічно розвиненим країнам.

Розширення джерел надходження енергоресурсів і географії імпорту збільшує надійність енергопостачання, що має винятково важливе значення. Однак вирішальний внесок у зменшення залежності від кон'юнктури світового ринку й в уповільнення зросту вартості енергії може дати розвиток атомної енергії. Її частка в енергетичному балансі Західної Європи і Японії може виявитися близькою 40 % на рівні 2030 р. Майбутні значні зміни в структурі енергетичного балансу вимагають величезних капіталовкладень (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Орієнтовні капіталовкладення (у трлн дол.)

	1976–2000 рр.	2001–2025 рр.
На розвиток ПЕК	2,0	5,0
На розвиток зв'язаних з ПЕК галузей	0,3	0,5
На розвиток експорту, який контролює імпорт палива	0,2	0,3
Усього	2,5	5,8

Для порівняння відзначимо, що за попередні 25 років прямі і непрямі капіталовкладення в розвиток енергетики Західної Європи і Японії не перевищили 0,5-0,6 трлн дол. Є очевидним величезний вплив ПЕК на економіку кожної країни.

2.2. Взаємозв'язки ПЕК з різними галузями народного господарства

Будь-яка сукупність зв'язків є вихідною для обґрунтованого з'ясування ієрархічної побудови і доцільного функціонування інформаційних систем, без чого неможливе ефективне управління, у тому числі енергоменеджмент.

У великих економічних системах протікають два типи процесів: речовинні (фізичні) й інформаційні. У першому процесі провідну роль

відіграють матеріально-енергетичні і силові перетворення, а в другому перетворення інформації. Відповідно, зовнішні зв'язки комплексу можна розділити на речовинні й інформаційні. Тут при перспективному плануванні всі зв'язки виступають як інформаційні, а при поточному управлінні поряд з ними мають місце і речовинні.

Причини виникнення зовнішніх зв'язків серед міжгалузевих комплексів сфери виробництва можна пояснити дією таких факторів:

- об'єктивною необхідністю суспільного поділу праці і продуктоспоживання між окремими галузями;
- обмеженістю виробничих ресурсів (трудових, матеріальних, грошових, природних), у результаті чого додаткове виділення цих ресурсів одній галузі зменшує їхнє надходження в інші з усіма наслідками, що звідси випливають;
- взаємозамінністю продукції різних галузей;
- комплексним і багатоцільовим використанням природних ресурсів і впливом роботи окремих підприємств на навколишнє середовище, а через нього – на функціонування інших об'єктів.

Звідси випливає і класифікація груп зовнішніх зв'язків: галузеві зв'язки продуктоспоживання; зв'язки за імпортованими ресурсами; за частковою взаємозамінністю продукції, за природовикористанням тощо.

Для аналізу зв'язків часто використовують два підходи: розглядають або зв'язок за окремими показниками, які характеризують інформаційні входи і виходи галузевих систем, або комплексний вплив однієї галузі на інші. У першому випадку маємо справу із системоутворюючими (однорідними) зв'язками, а в другому – з комплексними.

Комплексні зв'язки – це результат дії декількох типів системоутворюючих зв'язків. При цьому часто виникає так званий синергетичний (системний) ефект. Тому комплексні зв'язки іноді називають синергетичними.

Однією з особливостей енергетики є різноманітність її взаємозв'язків з народним господарством. Для дослідження впливу стратегій розвитку ПЕК на народне господарство виділяють такі системотвірні зв'язки: виробничі (міжгалузові); техніко-економічні; виробничо-територіальні; соціально-економічні; споживчі; соціально-економічні зв'язки щодо природокористування; зв'язки ПЕК по лімітованих виробничих продуктах; зв'язки щодо комплексного використання природних енергетичних продуктів.

Відзначені зв'язки ПЕК з народним господарством дозволяють виявити рівні і завдання оптимізації розвитку ПЕК як основи енергозберігаючої політики.

2.3. Рівні і завдання оптимізації розвитку ПЕК

Планування енергетичного господарства нерозривно пов'язане з регулюванням паливо- і енергопостачання споживачів, тобто з розробкою і здійсненням заходів для ліквідації відхилення параметрів керованого об'єкта від прийнятих завдань.

Принципово в структурі ПЕК можуть бути виділені дві взаємозалежні групи систем: *енергетичні галузі і районні системи споживачів енергії*. Для кожної з цих систем може бути простежена своя ієрархія завдань у відповідності зі специфічними особливостями їх прогнозування і планування.

На вищому, народногосподарському рівні ієрархії ПЕК кожна енергетична галузь розглядається в цілому для всієї країни, а споживачі енергії повинні бути представлені у відповідному районному розподілі. Метою оптимального розвитку ПЕК на цьому рівні ієрархії є встановлення основних пропорцій розвитку енергетичних галузей і міжрайонних потоків палива й електроенергії, які забезпечували б раціональний розвиток і заміщення виробничих сил країни відповідно до народногосподарських

завдань, розв'язуваних в даний період. Отримані результати мають вирішальне значення для встановлення раціональних розмірів і засобів розвитку основних паливних баз і енергопостачальних систем, виробничої потужності, розміщення і спеціалізації паливопереробних підприємств та енергогенеруючих об'єктів, міжрайонного розміщення і виду палива для великих електростанцій, розв'язання інших подібних питань розвитку енергетичних галузей. Принципова схема зв'язків ПЕК країни показана на рис. 2.1

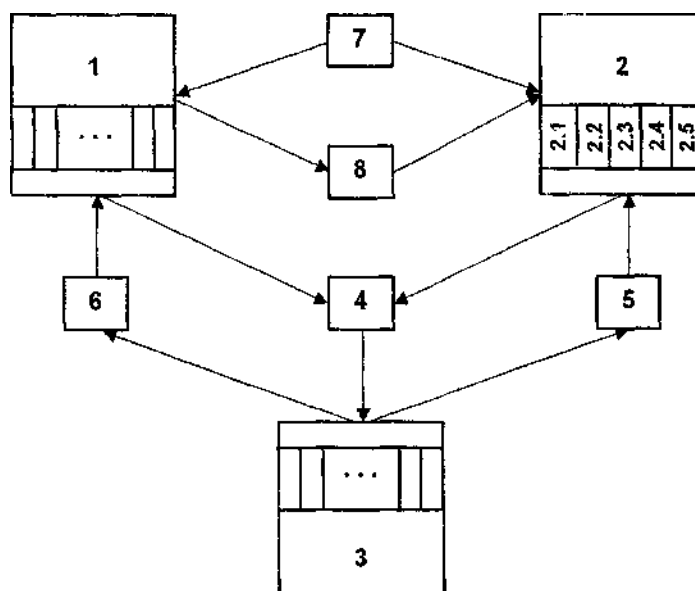


Рисунок 2.1 – Принципова схема зв'язків ПЕК країни:

1 – багатогалузеві народногосподарські комплекси; 2 – енергетичні галузі ПЕК:
 2.1 – нафтова, 2.2 – газова, 2.3 – вугільна, 2.4 – електроенергетика,
 2.5 – теплоенергетика; 3 – районні системи споживачів енергії; 4 – формування вихідних порайонних масштабів і структури споживання енергії; 5 – визначення в результаті оптимізації розвитку ПЕК масштабів і структури споживання по окремих видах палива й енергії; 6 – уточнення в результаті оптимізації ПЕК розміщення продуктивних сил, у тому числі енергоємних виробництв; 7 – розподіл грошових і інших народногосподарських ресурсів; 8 – забезпечення устаткуванням, матеріалами, надання послуг і т.п.

Об'єднання енергетичних галузей і споживачів енергії на відповідній території утворить ПЕК району, що відповідає другому рівню ієрархії завдань прогнозування і планування ПЕК. ПЕК району є частиною ПЕК країни і має з ним тісні зв'язки, які відображають умови виробництва палива й енергії, їх міжрайонний розподіл і використання. Це означає, що регіональне прогнозування і планування ПЕК ґрунтуються на узгодженні умов розвитку галузей ПЕК країни з місцевими особливостями створення енергетичної бази і витрати палива й енергії в районі. До числа таких регіональних особливостей відносяться природно-географічні умови, транспортне і водогосподарче забезпечення, населеність і національні особливості побуту, наявність вільної для промислового і сільськогосподарського освоєння територій, розвиток будівельної бази й ін.

Районні і галузеві системи формуються відповідно до технічних і технологічних умов розвитку енергетичних галузей. Районні системи споживачів енергії відбивають потреби в енергетичних ресурсах і видах енергії в народному господарстві окремих частин країни. На практиці існує складна система взаємозв'язків між енергетичним господарством країни в цілому й енергетикою району, між енергетикою і народним господарством району (рис. 2.2).

Найбільш загальними енергоекономічними факторами, що впливають на формування зв'язків району, є структура споживачів і розміщення великих паливо- і енергоємних підприємств, кількість і якість місцевих енергоресурсів, особливості режиму споживання і зв'язаного з ним збереження паливних ресурсів, особливості внутрішньорайонного транспортування палива й електроенергії.

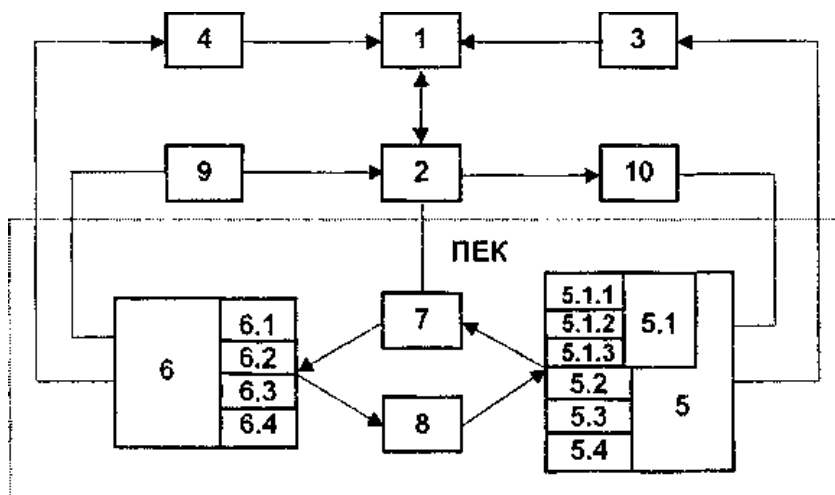


Рисунок 2.2 – Принципова схема зв'язків ПЕК району:

1 – народне господарство країни; 2 – народне господарство району; 3 – енергетичні галузі в ПЕК країни; 4- система споживачів енергії в ПЕК країни; 5 – енергопостачання району: 5.1 – система паливостачання: 5.1.1 – рідке паливо, 5.1.2 – газоподібне паливо, 5.1.3 – тверде паливо, 5.2 – електропостачання, 5.3 – теплопостачання, 5.4 – місцеві енергоресурси; 6 – потреба району в паливі й енергії: 6.1 – енергетичні об'єкти – виробники палива й енергії, 6.2 – великі міста і промислові вузли, 6.3 – великі промислові об'єкти, 6.4 – сільськогосподарські зони і малі міста; 7 – формування масштабів і структури споживання енергоресурсів; 8 – уточнення масштабів і структури споживання по окремих видах палива й енергії; 9 – уточнення розміщення об'єктів народного господарства на території району; 10 – забезпечення ПЕК районутрудовими ресурсами, водними ресурсами, промисловими площадками, будівельною базою і т.п.

Системи енергопостачання міст, промислових вузлів сільськогосподарських районів (зон) утворюють третій рівень ієрархії завдань розвитку ПЕК. Варто розрізняти схеми власне енергопостачання і споживачів палива й енергії. Місцеві особливості – планування і характер забудови території, розвиток транспорту, санітарно-гігієнічні й інші вимоги – відіграють на цьому рівні ієрархії завдань важливу роль і, власне кажучи, створюють у кожному випадку свої індивідуальні умови розвитку систем

енергопостачання. Завданням їхньої оптимізації є визначення оптимального варіанту електро- і паливопостачання, вибір системи теплопостачання тощо. Подальшим розвитком і уточненням цих питань є визначення оптимальних схем і параметрів електричних, газових і теплових мереж для енергопостачання об'єктів на відповідній території. Четвертий ступінь ієрархії питань розвитку ПЕК утворюють підприємства-виробники палива й енергії та енергетичні господарства підприємств-споживачів. Для них існує своя система завдань керування і розвитку.

Взаємозв'язки ПЕК здійснюються в першу чергу при виборі енергоносіїв, енергозатратних процесів і установок, тобто в системах споживачів енергії. Вибір енергоносіїв безпосередньо проводиться при визначенні раціональної технології промислового і сільськогосподарського виробництва, виду двигунів і способу тяги на транспорті, способів опалення, гарячого водопостачання, холодопостачання і стравоваріння в комунально-побутовому господарстві.

Через споживачів енергії виявляються зв'язки енергетики з народним господарством. Вони відбиваються в розмірі так званого неенергетичного ефекту, тобто в економічній характеристиці наслідків змін у технології виробництва, зв'язаних із заміною одних видів палива й енергії іншими. Іншою формою прояву цих зв'язків є зміна кількості чи якості випуску продукції підприємством із-за переведення на інші види енергоносіїв. Важливим є і те, що переведення основних технологічних установок на новий енергоносіє у ряді випадків спричиняє значні зміни у витратах палива й енергії на інших ділянках виробництва, істотно впливаючи на їхню технологію.

Тому в завданнях на нижчому рівні ієрархії ПЕК визначаються економічно обґрунтовані співвідношення споживання різних видів палива й енергії. Саме вони в остаточному підсумку формують пропорції розвитку виробництва енергоресурсів. На всіх інших, більш високих рівнях ієрархії

застосовуються узагальнені характеристики, які показують інтегральну ефективність використання окремих видів палива й енергії у відповідних енергозатратних системах.

Важливим моментом при розробці завдань оптимального розвитку галузей є облік двоякої ролі паливодобувних, переробних і енергогенеруючих підприємств. Вони виступають, з одного боку, як виробники нових видів палива чи енергії, що відбивається у відповідних завданнях розвитку енергетичних галузей, з іншого боку – як споживачі енергоресурсів. Останнє істотно впливає на формування енергетичного балансу району розміщення енергетичного об'єкта.

Отже, в структурі ПЕК виділяють дві групи систем:

спеціалізовані галузеві системи і системи споживачів енергії, кожна з яких має свою вертикальну послідовність завдань прогнозування і планування;

комплексні системи, що забезпечують горизонтальне міжгалузеве ув'язування спеціалізованих систем у єдине ціле – енергетичне господарство країни, регіону, міста і т.д., аж до енергетичного господарства промислового підприємства.

Після розпаду СРСР Україна втратила доступ до дуже дешевих енергосистем, і одночасно наступив час робити серйозні переміщення в галузі енергозбереження і енергоефективності. У зв'язку з цим доцільно звернути увагу на деякі відомості статистики в питанні енергозабезпеченості й енергоспоживання в нашій економіці. У таблиці хох показано паливно-енергетичний баланс України за роки незалежності.

Аналіз статей паливно-енергетичного балансу показує, що основними компонентами паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) країни є вугілля, газ, ядерне паливо і нафта. Очевидною є динаміка зміни складових ПЕР по роках, що зв'язано з їхнім споживанням. Характер споживання ПЕР показаний у табл. 2.3.

З табл. 2.4 видно, що основний споживач енергоресурсів – це промисловість. Важливо відзначити, що зниження національного продукту в 1995 р. у порівнянні з 1990 р. майже вдвічі (4,79 %) привело до зростання енергоємності в 1,34 раза. Звідси випливає висновок: в умовах спаду виробництва на тлі енергетичної кризи вкрай загострилися умови ефективності і конкурентноздатності продукції.

Відомо, що собівартість продукції більшості українських підприємств перевищила світовий рівень цін. У цих умовах необхідний науково-обґрунтований підхід до питання рентабельності виробництва й оцінка потенціалу зниження витрат. Одним з таких напрямків є *енергозбереження*. Потенційні можливості зниження енерговитрат на виробництво національного продукту в народному господарстві дуже важливі, і їх необхідно ефективно й інтенсивно використовувати.

Таблиця 2.3 – Паливно-енергетичний баланс України

№ з/п	Статті балансу	Одиниці виміру,	Роки		
			1990	1995	2000
	Ресурси – всього, в тому числі:	тис. т у.п.	433 865	249 532	329 717
1	Видобуток:	тис. т у.п.			
	вугілля		97 414	49 346	86 449
	нафта		7 506	5 853	7 007
	газ		32 295	20 885	31 435
	інші види палива		2 090	1 590	12 202
2	Виробництво природних ресурсів, включаючи АЕС	тис. т у.п.	28 516	16 168	37 022
3	Інші прибутки, включаючи імпорт	тис. т у.п.	211 391	120 100	117 863
4	Експорт	тис. т у.п.	35 765	3 248	3 181

Таблиця 2.4 – Споживання котельно-пічного палива (КПП) і електроенергії в народному господарстві України

Споживачі	КПП, тис. т у. п.		Електроенергія, млрд кВт/год	
	1990 р.	2000 р.	1990 р.	2000 р.
Промисловість	213,6	196,0	188,3	160,2
Будівництво	2,4	1,2	3,981	2,12
Транспорт	8,8	9,5	145,0	110,4
Сільське господарство	5,7	3,5	19,02	15,6
Житлово-комунальний комплекс	50,1	43,0	44,6	51,9

У комплексній програмі енергозбереження країни відзначається, що потенціал енергозбереження на рівні базового 1990 р. становить 145–170 млн т у.п. чи приблизно 42–48 % від споживання енергоресурсів. До того ж за рахунок утилізації вторинних енергоресурсів (ВЕР) потенціал усіх енергоресурсів різко зростає. Потенційні можливості ВЕР по галузях промисловості подані в табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Співвідношення потенціалів ВЕР по галузях промисловості

Галузі промисловості	Потенціал використання, млн т у.п./рік
Металургія	52
Хімічна	15
Нафтопереробна	21
Газова	15
Целюлозно-паперова	5,5
Машинобудівна	2,5
Виробництво будівельних матеріалів	1,75
Харчова	2,0

Як видно з таблиці 2.5, утилізація вторинних енергоресурсів забезпечує додатковий резерв енергії близько 115 млн т у.п., що становить половину імпортованих в Україну енергоносіїв.

Тому глобальним завданням оптимізації розвитку ПЕК є створення комплексної взаємодії енерговиробників і споживачів енергії галузей країни з метою гранично можливої економії ПЕР і в той же час забезпечення продукції якості світового рівня.

Питання для самоконтролю за розділом 2

1. Що таке паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) і які галузі він об'єднує?
2. Яка головна мета функціонування ПЕК у народному господарстві країни?
3. Назвіть основні фактори, які об'єктивно зумовлюють об'єднання різних галузей ПЕК у єдиний комплекс.
4. Які головні тенденції зростання енергоспоживання характерні для прогресуючої економіки?
5. Чому зростає частка електроенергії у загальному споживанні енергоресурсів?
6. Що означає підвищення потенціалу енергії у споживачів?
7. Які галузі найбільш чутливі до зміни вартості палива й енергії?
8. У яких випадках розвиток ПЕК впливає на інші галузі економіки через споживання продукції чи послуг?
9. Чому ПЕК вважається капіталомістким і фондоемним комплексом?
10. Як змінився енергетичний баланс Західної Європи і Японії з 1950 по 2030 рр.?
11. Чому країни, що не мають власних дешевих енергоресурсів, активно імпортують нафту та газ?

12. Які основні типи зовнішніх зв'язків ПЕК із галузями народного господарства?

13. Що таке комплексні (синергетичні) зв'язки ПЕК і чим вони відрізняються від системоутворюючих?

14. Назвіть основні рівні ієрархії планування ПЕК.

15. Які завдання вирішуються при оптимізації розвитку ПЕК на регіональному та локальному рівнях?

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1. Основні напрямки економії енергоресурсів

У кожній галузі народного господарства існують специфічні умови і можливості економії енергоресурсів. Розглянемо основні напрямки економії енергетичних ресурсів.

У чорній і кольоровій металургії економію енергоресурсів можна одержати в результаті удосконалення технології плавки і нагрівання металу, збільшення завантаження печей і зменшення їх простоїв, установки рекуператорів за нагрівальними і термічними печами, застосування більш досконалих нагрівальних пристроїв і теплоізоляції печей.

У промисловості будівельних матеріалів при сухому способі виробництва цементу, зокрема, за рахунок виключення витрат тепла на випаровування води при мокрому способі зберігається до 30 % палива.

На зниження питомих витрат енергоресурсів у промисловості буде впливати широке впровадження автоматизації ЕОМ, що забезпечить більш точне регулювання технологічних процесів, а також збільшення продуктивності та ККД нового технологічного обладнання.

У машинобудуванні і металообробці питомі витрати ПЕР можуть бути знижені за рахунок удосконалення виробництва виливків, кувань і штампувань, застосування комбінованих нагрівальних і термічних печей, що використовують електричний і газопломеневий нагрів, газові нагрівачі шихти в електроплавильних печах, а також у результаті підвищення технічного рівня механічної обробки, зварювання, завантаження устаткування, поліпшення асортименту прокату та заміни металу пластмасою. Усе це дозволить у найближчі роки скоротити питому витрату

палива на 15–20 %, електроенергії – на 10–15 % на одиницю валової продукції і знизити споживання теплової енергії.

У залізничному транспорті збільшення одиничної потужності локомотивів і відповідно ваги потягів, перехід на тепловози з більш економічними чотиритактними дизелями, завершення робіт щодо переведення вантажних вагонів на підшипники кочення і подальша електрифікація тяги та збільшення довжини безстикової колії дозволять знизити питому витрату палива на 10 тис. т/км брутто за всіма видами тяги на 10–14 % у порівнянні з існуючим рівнем.

У морському транспорті ці показники будуть досягнуті в результаті поповнення флоту суднами із сучасними економічним дизельними установками і виведення з експлуатації старих пароплавів.

На газопровідному транспорті – за рахунок зниження гідравлічного опору в газопроводах і застосування більш могутніх газоперекатних агрегатів з поліпшеними техніко-економічними показниками.

У хімічній промисловості впровадження у виробництво жовтого фосфору укрупненого устаткування з більш високим ККД дозволить знизити витрату енергії на 5–6 %, а у виробництві хлору і каустичної соди – за рахунок застосування діафрагмових електролізерів з металоокисними анодами – на 7 %. Упровадження у виробництво пластмас газофазного методу і заміна у виробництві поліетилену бензинових промивань водними знижує витрату тепла також на 7 %.

У сільському господарстві економію палива та енергії передбачається одержати в першу чергу за рахунок завершення організаційно-технічних заходів щодо кращого використання техніки, зміцнення ремонтної бази та технічного обслуговування машинно-тракторного парку, удосконалення засобів доставки і збереження палива, а також його заправки.

Використання тепла вентиляційних викидів повітря промислових

підприємств дозволяє також заощаджувати органічне паливо, витрачене на їхнє опалення. Проведені розрахунки і наявний закордонний досвід показують, що використання такого тепла на підприємствах, які мають 7–10-кратний обмін повітря на годину, дозволить знизити витрати на опалення не менше ніж на 30 %.

Джерелом економії органічного палива в містах у перспективі стане спалювання в спеціальних котельних установках побутового сміття для одержання гарячої води. Досвід експлуатації декількох сміттєспалювальних заводів показав їхню ефективність. Спалювання 5 млн. т. сміття вивільняє майже 1 млн. т. умовного палива.

Зниження витрати органічного палива можливе за рахунок зменшення втрат і ощадного витрачання різних матеріалів, збільшення терміну служби устаткування, особливо масових видів.

Економію (зниження споживання) енергоресурсів можна отримати за рахунок підвищення якості продукції.

Підвищення якості електроенергії в споживачів до рівня, передбаченого державним стандартом, дозволить знизити втрати електроенергії в електричних мережах усіх напруг на 10 %, збільшити продуктивність електротехнологічних установок (печей, електролізерів тощо) і установок з асинхронними двигунами.

Освоєння нових джерел поновлювальної енергії (термальних вод, енергії сонця), використання слабконагрітих стічних вод і вентиляційних викидів, спалювання побутових відходів дозволяють, крім скорочення видобутку органічного палива, вирішити й інші важливі народногосподарські завдання – розвантажити різні види транспорту від перевезення палива, зменшити забруднення повітряного басейну та водоймища, звільнити земельні площі, займані під складування золи і сміття, а також знизити витрати рідкого палива.

Реалізація основних напрямків економії ПЕР пов'язана не тільки з

організацією чи збільшенням виробництва, необхідного для цього енергоекономічного устаткування, але і з удосконаленням системи управління роботами для підвищення ефективності самих заходів. При оцінці діяльності промислових підприємств та інших організацій поряд із установленими показниками (рентабельність, прибуток тощо) важливо враховувати і показники щодо виконання заходів для економії і досягнення встановлених норм витрат ПЕР. Реалізація заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів – одне з важливих завдань нашої країни, що вимагає якнайшвидшого вирішення.

3.2. Організаційно-економічні проблеми впровадження енергозберігаючих технологій

Енергозберігаючі технології міжгалузевого застосування законодавчо затверджені як один з пріоритетних науково-технічних напрямків в енергетиці. Реалізація цього напрямку дозволить збільшити виробництво електроенергії з використанням безпаливних чи енергозберігаючих технологій з різким (у 2–2,5 рази) зниженням питомої витрати палива при мінімальних капіталовкладеннях. Вироблення електроенергії з використанням цих технологій буде здійснюватися не тільки на електростанціях, але й на підприємствах газової, металургійної та хімічної промисловості, у житлово-комунальному господарстві в будівельній індустрії. У даний час поставлено завдання: визначити типи перспективних енергозберігаючих установок та їхнє місце в енергетиці з урахуванням реальної економічної кон'юнктури. Енергетика має такі особливості:

- різко зросли ціни на паливо та електроенергію для промислових підприємств, які в 1996 р. у деяких регіонах досягли рівня світових цін. Наслідком цього є швидке збільшення частки вартості електроенергії в собівартості продукції підприємств нафтохімічної, металургійної,

деревообробної, будівельної та інших галузей промисловості;

- відсутні умови для значних інвестицій в енергетику, що знижує можливість будівництва електростанцій великої потужності;
- високий ступінь фізичного та морального зносу існуючих енергетичних потужностей;
- енергетика здатна задовольнити лише сучасний депресивний стан економіки, а в умовах економічного росту буде гальмом її розвитку;
- величезні потенційні можливості для впровадження енергозберігаючих технологій.

Напрямки, пов'язані з виробленням електроенергії як найбільш складні, вимагають комплексних науково-технічних розробок і фінансово-економічного аналізу методів їх реалізації на практиці.

Науково-технічні проблеми енергозбереження при виробленні електроенергії:

1. установка енергозберігаючого устаткування не повинна призводити до зниження надійності основного виробничого циклу;
2. теплова схема енергоблоків, що підключаються, має зводити до мінімуму втрату робочого тіла і тепла з основного виробничого циклу;
3. енергоустановка повинна мати високий ККД при її роботі на перемінних параметрах;
4. КВП і автоматика установки повинні забезпечувати надійність дії в перехідних процесів, можливість її роботи синхронно з центральною енергосистемою і на індивідуальну мережу, можливість оперативного обслуговування персоналом, що не має фахової освіти.

3.3. Прогноз розвитку видобутку та споживання паливно-енергетичних ресурсів

Наведемо прогнози, що очікує людство через 20, 50 та 100 років щодо споживання первинної енергії. Встановлено, що з 1920 по 1970 рр.

практично незмінною залишалась частка ГЕС (близько 15 %), знизилась (з 75 до 30 %) частка вугілля та зросла (приблизно з 8 до 55 %) частка вуглеводневого палива. Після 1990 р. передбачається можливість розвитку людства за різними сценаріями: А – інтенсивне зростання; В – середні темпи зростання; С – повільне зростання, що забезпечує зниження викидів CO₂ в атмосферу від 6 млрд. т до 2 млрд. т в 2100 р. Передбачається, що загальне споживання первинної енергії в період з 1990 р. по 2050 р. і по 2100 р. зросте відповідно від 12,96 до 36,0 та до 64,8 млрд т у. п. згідно з варіантом А, згідно з варіантом В – від 12,96 до 28,8 і до 50,4 млрд т у. п., а згідно з варіантом С – від 12,96 до 20,2 і до 30,2 млрд т у. п.

За всіма сценаріями до 2100 р. різко зростає частка ядерної енергетики, а частка газу та мазуту знизиться до 12–21 %. За сценаріями, які забезпечують мінімальні викиди в атмосферу вуглекислого газу та діоксиду сірки, передбачається зниження споживання вугілля до величини менше 10 %.

На останньому Світовому енергетичному конгресі, що відбувся в Буенос-Айресі у 2002 р., було зроблено граничну оцінку прогнозу росту світового електроспоживання до 2050 р. на рівні 45 000 ТВт·год (практично збільшення у три рази). При цьому маються на увазі значні прирости електроспоживання та вироблення електроенергії у країнах, які розвиваються, де вони сьогодні в середньому в 35 разів нижче (на душу населення), ніж у розвинених країнах, і де очікується основний приріст населення (до 7 млрд чол. із 9 прогнозованих у світі).

Наведені оцінки базуються на прогнозах економічного розвитку різних регіонів світу. Однак все ж таки існують об'єктивні причини зміни структури світового споживання на користь зростання у ньому частки газу. Основна із них полягає у виснаженні світових запасів нафти.

Більш детально зупинимося на видобутку та споживанні окремих видів енергоносіїв.

Нафта та газ. Нафта залишається найважливішим джерелом енергії в

світі. Країни, що розвиваються, мають понад 86 відсотків світових запасів.

Чимало розвинених країн добре пам'ятають нафтовий шок 70-х і не припиняють спроб знайти нафті альтернативу. Як наслідок, із 1973 р. споживання нафти для виробництва електроенергії, опалювання та інших промислових потреб у більшості розвинених країн зменшується. У багатьох країнах знизилося й споживання нафти для потреб транспорту, хоча в США воно, навпаки, зросло, і сьогодні Америка залежить від імпорту нафти ще більше, ніж 20 років тому.

Запаси природного газу поділені між розвиненими країнами й такими, що розвиваються, приблизно навпіл.

Природний газ посів перше місце як найважливіший вид палива в розвинених країнах, обійшовши нафту у 1983 р. та вугілля у 1987 р. Цей зсув пояснювався передусім орієнтованою на виробника енергетичною політикою в колишньому Радянському Союзі, де після початку застою у вугільновидобувній промисловості наприкінці 70-х кошти було перерозподілено в нафто-, а згодом (після стабілізації видобутку нафти у 80-і роки) газовидобувний сектори.

Лева частка в енергобалансі світу належить нафті, її частка у використанні первинних енергоресурсів становить 39,3 %. Далі йдуть вугілля – 25,3 % і природний газ – 25,0 %. Необхідно підкреслити, що частка вугілля в енергетичному балансі неухильно зменшується, а частка газу – збільшується. Тільки за період 1995–2001 рр. частка використання газу зросла на 1,7 %.

В країнах Європейського Союзу природний газ стабільно займає другу позицію в енергобалансі (23,5 %) після нафти (40,4 %). Є всі підстави вважати, що вже в найближчі роки природний газ вийде на друге місце після нафти і в енергетичному балансі світу.

Існує низка різних сценаріїв, але більшість аналітиків прогнозують, що світові потреби в первинній енергії підводяться до 2030 р., досягнувши

18 млрд. т на рік, проти 9 млрд т у 2000 р. і до 25–30 млрд т до 2050 р. Відповідно до цих прогнозів викопні види палива до 2050 р. складатимуть не більш двох третин від сумарного енергоспоживання порівняно з 85 % на сьогоднішній день.

Очікується, що обсяги споживання нафти почнуть знижуватись уже в період 2010–2020 рр., що обумовлюватиметься в основному відпрацюванням запасів. Приріст нових запасів нафти буде здійснюватись як за рахунок їх збільшення в рамках традиційних покладів, так і шляхом переведення у традиційні запаси нетрадиційних, таких як надрові нафти і бітуми, глибоководні та ультраглибоководні родовища.

Видобуток нафти зріс приблизно на 30 % і досягнув максимуму 5 млрд т між 2010 і 2020 рр. До 2030 р. рівень видобутку нафти знизиться до 4,5 млрд т, а до 2050 р. сумарна продукція нафти зменшиться до 3,5 млрд т на рік.

Що стосується природного газу, то вважається, що рівень його видобутку може бути обмежений недостатньою гнучкістю газового ланцюга (газопроводи, заводи по зрідженню газу). Прогнозується, що період досягнення максимального видобутку і його стабілізації почнеться близько 2015–2025 рр. і триватиме до 2050–2060 рр. Після цього видобуток газу почне знижуватись. Обсяги видобутку газу в період стабілізації на максимальному рівні зростуть порівняно з сьогоднішніми об'ємами видобутку більше, ніж у два рази, і становитимуть 4,5 млрд т.

За останніми оцінками світові запаси нафти склали 192,8 млрд куб. м, що на 17,6 % більше, ніж у попередньому році, запаси газу дорівнювали 155,8 млрд куб. м, або зросли за рік на 1 %.

Порівняно з попередніми декадами за останнє десятиріччя спостерігається сповільнення росту запасів нафти і газу. Так, якщо за період 1970–1980 рр. запаси нафти збільшились на 19,5 %, газу – на 94,9 %, в наступні десять років – відповідно на 56,2 та 68,2 %, то з 1990 р. по 2000 р.

вони зросли всього на 2,0 та 19,5 %. В цілому за згаданий період темпи зростання запасів газу були більшими, ніж нафти. Якщо у 1970 р. запаси газу були удвічі менші ніж нафти, у 1980 р. це співвідношення становило 79,0 %, у 1990 р. 85,1 %, то в останні роки ці запаси практично вирівнялись.

Більш детально зупинимося на проблемі приросту запасів нафти.

Відомо, що основні великі родовища нафти світу були відкриті ще в 50–80-х роках XX століття. За останні 40 років найбільшим відкриттям в цьому плані став басейн Північного моря із запасами в 60 млрд барелей (8,16 млрд т), що трохи більше сумарного споживання нафти протягом останніх трьох років. У зв'язку з цим американські геологи вважають, що навіть ті родовища, які ще можуть бути відкриті, за своїми запасами будуть суттєво меншими, ніж нафтоносна провінція Північного моря. Обсяги геологорозвідувальних робіт, виконані в останні 10–15 років XX століття, дозволяють передбачити, що до 2015–2020 р.р. приріст доведених світових запасів нафти складе приблизно 260 млрд. барелей (35 млрд т). Таким чином, до 2020 р. доведені, але не вилучені запаси нафти складали трохи більше 60 млрд т.

Звичайно, наведені оцінки умовні. Тому в дійсності дуже важко сказати, на скільки років світу ще вистачить нафти. Тут потрібно зауважити, що існує точка зору, згідно з якою через 40–50 років проблема приросту втратить актуальність, оскільки нафту витіснять нетрадиційні види енергоносіїв, наприклад, водень, альтернативні відновлювані джерела.

Зростання світового споживання нафти на фоні виснаження її запасів – це ще одна причина об'єктивної необхідності зростання частки газу у світовому енергоспоживанні. Згідно з прогнозами світове споживання нафти досягне 120 млрд. барелей на день, що еквівалентно 5,96 млрд т на рік проти 3,5 млрд т у 2000 р.

При цьому по регіонах світу темпи приросту обсягів споживання нафти, згідно з прогнозами темпів ВВП в країнах світу, буде різним.

Максимальний приріст планується для країн Азії, що розвиваються, де очікується економічне піднесення та нарощування використання нафти у всіх секторах економіки, включаючи виробництво нафтопродуктів і паливно-мастильних матеріалів для потреб транспорту, всіх видах промисловості та енергетики. Мінімальний – в промислово розвинених країнах, в яких споживання нафти буде потроху концентруватися виключно у сфері виробництва нафтопродуктів та паливно-мастильних матеріалів для потреб транспорту при одночасному переведенні на газ хімічної промисловості і електроенергетики. Так, наприклад, в 2020 в США на виробництво нафтопродуктів і паливно-мастильних матеріалів для потреб транспорту припадало 74 % від загального обсягу споживання нафти в країні і тільки 24 % – на інші галузі промислового виробництва.

Розвиток аналогічних тенденцій очікується в країнах – членах ЄС.

В країнах колишнього СРСР очікується зростання споживання нафти, однак ці обсяги не досягнуть пікового рівня 9–9,5 млн барелів на добу, який зберігався у 1980-х роках. За прогнозами експертів, проблема дефіциту нафти для внутрішніх потреб залишатиметься актуальною, оскільки перспективи суттєвого скорочення залежності країн від експорту вуглеводнів наразі не простежуються. Досить вірогідним є зростання частки електроенергетики як споживача продуктів нафтопереробки і відповідно – зростання частки нафти в енергобалансі за рахунок скорочення частки газу, яка на сьогодні становить 50 %.

Аналітики єдині в тому, що тенденція до виснаження запасів нафти буде супроводжуватися наростанням технологічних труднощів і собівартості видобування цього виду сировини, оскільки приріст світових запасів нафти буде відбуватися, в першу чергу, за рахунок ресурсів глибоководного морського шельфу, включаючи Арктику, розробка яких вимагає значних технологічних зусиль та великих матеріальних затрат. Але тоді для низки країн, які ведуть власне видобування нафти, виникає

альтернатива – вкладати гроші у видобування дорогої та «тяжкої» нафти чи просто перейти до купівлі більше енергоносіїв на світовому ринку. Це стосується, перш за все, промислово розвинених країн – імпортерів та виробників нафти, таких як США, Канада, Норвегія, Велика Британія. Можна зазначити, що в довготерміновій перспективі видобування нафти в цих країнах буде скорочуватися.

Більш ніж вірогідне скорочення видобування нафти в промислово розвинених частинах світу на фоні зростання світового попиту на цей ресурс в інших регіонах зумовлює майбутні суттєві зміни в регіональній структурі світового видобування нафти.

Вугілля. Вугілля – найдешевший та найширше розповсюджений (однак і найбрудніший) із трьох основних видів викопного палива. Має високий вміст вуглецю і під час згорання дає неймовірне забруднення. І хоча його видобування також нівечить ландшафт, до цього джерела прив'язує ціла низка обставин.

Серед трьох основних видів викопного палива, поклади вугілля розповсюджені найбільш рівномірно. Понад 60 % світових запасів вугілля припадає на країни, що розвиваються (50 % лише в Китаї). Серед розвинених країн, колишній Радянський Союз та США найбагатші на вугілля (відповідно 13 та 12 %).

Незважаючи на зростаючу занепокоєність глобальним потеплінням, кислотними дощами та іншими проявами екологічних негараздів, вугілля все ще широко використовується. Центральна Європа та країни колишнього Радянського Союзу серйозно залежать від цього джерела енергії. Вугілля є найважливішим джерелом енергії в Польщі, Чехії та Словаччині. На ньому працює вся промисловість Болгарії. Більшість осель у цих країнах, а також в Угорщині теж опалюється вугіллям. У Польщі на це йде 47 % усього споживаного вугілля, в Угорщині 75 %.

На Сході вугілля задовольняє 73 % енергетичних потреб китайської

економіки, причому чверть усього вугілля йде на опалення житлових будинків, спричиняючи серйозне забруднення повітря в містах. Китай, Індія, Південна Африка та КНДР виробляють 92 % вугілля всіх країн, що розвиваються. В інших країнах, що розвиваються, поклади вугілля, безумовно, великі, але точних даних бракує, оскільки розвідка проводилася в обмеженому обсязі.

Частка світового споживання вугілля по регіонах в кінці XX століття показана в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Частка світового споживання вугілля по регіонах в кінці XX століття

Регіони	Частка світового споживання вугілля, %		
	1980	1990	2000
Європа	21	14	10
Колишній СРСР	19	15	8
Північна Америка	23	21	25
Азійсько-Тихоокеанські країни	34	45	52
Загальне споживання кам'яного вугілля, млн т	2 781	3 535	3 738

Основна маса видобутого в 1999 р. кам'яного вугілля припадає на першу десятку країн (млн т): Китай – 1 029, США – 914, Індія – 290, Австралія – 225, Південна Африка – 224, Польща – 112, Україна – 81, Індонезія – 74, Казахстан – 56.

Що стосується енергетики, то, незважаючи на помітне в останні роки зростання частки природного газу, вугілля залишається основним видом палива на електростанціях. Його частка в паливному балансі ТЕС навіть у 2015 р. становила 58 %, у той час як за рахунок спалювання природного газу було вироблено 27 % усієї електроенергії ТЕС, а за рахунок спалювання мазуту – лише 15 % (при цьому очікується, що частка ТЕС у сумарному

виробництві електроенергії становитиме 62 %, частка ГЕС – 21 % та частка АЕС – 17%).

Вугілля є основою електроенергетики у багатьох країнах: у 1999 р. в Польщі при спалюванні вугілля було вироблено 96 % усієї електроенергії, у ПАР – 90 %, в Австралії – 84%, у Китаї – 80%, у Чехії – 71%, в Індії – 68 %, у США – 56%.

Основною причиною такого широкого використання вугілля в енергетиці є його доступність (вугілля видобувається більш ніж у 100 країнах) та порівняно низька вартість. У США, наприклад, протягом останніх років вартість вугілля безперервно знижується (у середньому на місці видобування від 50 дол. за т в 1975 р. до 20 дол. за т в 1995 р. та 19 дол. за т в 2000 р.).

Витрати на транспортування вугілля також зменшуються: у період з 1995 по 2015 р. тарифи на залізничні перевезення будуть знижувалися в середньому на 0,5 % на рік. У той же час вартість природного газу в останні роки постійно зростає. Очікується, що до 2015 р. ціна газу буде щорічно зростати приблизно на 1,4 % та досягне 76 дол. за 1000 куб. м на місці видобування.

Використання вугілля зростає в США, Японії та Південно-Східній Азії. Експерти прогнозують заміщення імпорту дорогого вугілля з Польщі та США дешевшим вугіллем із Південної Америки. Водночас скорочення внутрішнього видобутку у Великій Британії, Німеччині, Іспанії та Франції, швидше за все, буде компенсуватися не за рахунок імпорту, а за рахунок використання альтернативних джерел енергії (природного газу, ядерної енергії).

3.4. Класифікація та енергетичний потенціал відновлювальних джерел енергії

Відновлювальну енергетику поділяють на такі галузі:

вітроенергетика – виробництво електроенергії за допомогою енергії вітру, яка перетворюється на механічну та потім на електричну за допомогою вітротурбін;

сонячна енергетика – використання сонячної радіації для виробництва електроенергії (сонячні панелі) або тепла (соляні колектори);

гідроенергетика – виробництво електроенергії за рахунок руху води, включає як великі гідроелектростанції (ГЕС), так і малі ГЕС;

біоенергетика (біопаливо) – отримання енергії з органічних матеріалів, таких як рослинна маса, деревина, відходи сільського господарства або біогаз;

геотермальна енергетика – використання тепла, що накопичується всередині земної кори, для виробництва електроенергії та тепла;

паливні елементи – хімічні джерела струму, які перетворюють хімічну енергію палива (наприклад, водню) безпосередньо на електроенергію.

Технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в одиницях умовного палива (у.п.) і в нафтовому еквіваленті (н.е.) для України наведено в табл. 3.2.

На даний момент відновлювальні джерела на території України виробляють близько 2,5 млн т н.е. енергії (майже вся енергія генерується великими ГЕС), тобто потенціал відновлювальної енергетики України використовується лише на 3 %. Причиною таких низьких показників є висока собівартість енергії порівняно з викопними джерелами. Найбільш конкурентоспроможними галузями відновлювальної енергетики в Україні є гідроенергетика та біоенергетика. Водночас собівартість енергії з інших відновлювальних джерел поступово знижується, що робить їх використання економічно доцільним у перспективі.

Таблиця 3.2 – Потенціал відновлюваної енергетики України

№ з/п	Напрямок відновлювальної енергетики	Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал,	
		млн т у. п.	млн т н. є.
1	Вітроенергетика	28,0	19,6
2	Сонячна енергетика:	6,0	4,2
2.1	електрична	2,0	1,4
2.2	теплова	4,0	2,8
3	Гідроенергетика:	7,0	4,9
3.1	велика гідроенергетика	5,0	3,5
3.2	мала гідроенергетика	2,0	1,4
4	Біопаливо	31,0	21,7
5	Геотермальна теплова енергетика	30,0	21
Загальний обсяг		102,0	71,4

На сучасному етапі більшість галузей відновлювальної енергетики розвивається за державної підтримки. До основних механізмів підтримки належать:

- ратифікація міжнародних угод з енергозбереження (Кіотський протокол, Енергетична хартія);
- затвердження національних програм розвитку відновлювальної енергетики, у рамках яких: енергію, вироблену відновлювальними джерелами, держава закуповує за вищим, «зеленим» тарифом порівняно з іншими виробниками; виробникам енергії з відновлювальних джерел надають податкові пільги; для енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії встановлюють квоти на ринку енергоресурсів.

В Україні діє національна програма з енергозбереження – енергетична стратегія України на період до 2030 року.

Мета енергетичної стратегії України:

- створення умов для постійного та якісного задоволення попиту на енергетичні продукти;
- визначення шляхів та створення умов для безпечного, надійного та сталого функціонування енергетики та її максимально ефективного розвитку;
- забезпечення енергетичної безпеки держави;
- зменшення техногенного навантаження на довкілля та забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки паливно-енергетичного комплексу;
- зниження питомих витрат у виробництві та використанні енергопродуктів через раціональне споживання, впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання, раціоналізацію структури виробництва та зниження питомої ваги енергоємних технологій;
- інтеграція Об'єднаної енергосистеми України до європейської енергосистеми з послідовним збільшенням експорту електроенергії та зміцненням позицій України як транзитної держави нафти і газу;
- збільшення частки енергії від відновлювальних джерел до 12 %.

Завдання та напрями Енергетичної стратегії:

1. формування цілісної та ефективної системи управління і регулювання паливно-енергетичного сектору, розвиток конкурентних відносин на ринках енергоносіїв;
2. створення передумов для суттєвого зменшення енергоємності вітчизняної продукції завдяки впровадженню нових технологій;
3. розвиток експортного потенціалу енергетики через продаж електроенергії, модернізацію та оновлення генеруючих потужностей і ліній електропередач, у тому числі міждержавних;
4. розвиток вітчизняного енергетичного машинобудування, приладобудування та енергобудівельного комплексу як передумови

конкурентоспроможності України в енергетичних проєктах, в тому числі за кордоном;

5. оптимізація видобутку власних енергоресурсів;

6. диверсифікація зовнішніх джерел постачання енергетичних продуктів та маршрутів їх транспортування;

7. створення єдиної державної системи статистики, стратегічного планування, моніторингу виробництва та споживання енергетичних продуктів, формування балансів попиту та пропозицій;

8. збалансування цінової політики щодо енергетичних продуктів;

9. нормативно-правове забезпечення реалізації цілей стратегії з урахуванням міжнародних зобов'язань (Договір до Енергетичної Хартії, Кіотський протокол, двосторонні угоди та вимоги європейського законодавства).

Податкові пільги для відновлювальної енергетики в Україні:

- звільнення від оподаткування 80 % прибутку підприємств у сфері ВДЕ, отриманого від продажу товарів власного виробництва на митній території України;

- звільнення від оподаткування 50 % прибутку від енергоефективних заходів та реалізації енергоефективних проєктів підприємств, включених до Державного реєстру;

- звільнення від оподаткування операцій із ввезення на митну територію України енергозберігаючих матеріалів, обладнання та комплектуючих;

- звільнення від сплати ПДВ за постачання техніки, обладнання та устаткування для альтернативних видів палива (до 1 січня 2019 р.);

- звільнення від оподаткування прибутку виробників біопалива.

Для всіх виробників у сфері відновлювальної енергетики діє зелений тариф. Ціни на електроенергію за зеленим тарифом для різних видів ВДЕ наведено в табл. 3.3.

Перед проектуванням відновлювальних джерел енергії, що працюють за зеленим тарифом, необхідно отримати ліцензію. Під час спорудження об'єктів певну частку обладнання і матеріалів потрібно закуповувати у національного виробника. Дані щодо частки національної складової наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Зелений тариф

Вид відновлювального джерела	Потужність, кВт	Тариф, євро/кВт·год				
		до 31.03.13	01.04.13 – 31.12.14	01.01.15 – 31.12.2019	01.01.20 – 31.12.24	01.01.25 – 31.12.29
Вітер	до 600	0,06462	0,06462	0,058158	0,051696	0,045234
	600 – 2000	0,07539	0,07539	0,067851	0,060312	0,052773
	понад 2000	0,113085	0,113085	0,1017765	0,090468	0,0791595
Сонце (електростанції на поверхні землі)	без обмежень	0,465264	0,339255	0,3053295	0,271404	0,2374785
Сонце (електростанції на дахах або фасадах будівель)	до 10	–	0,358641	0,3227769	0,2869128	0,2510487
	10 – 100	0,426492	0,358641	0,3227769	0,2869128	0,2510487
	понад 100	0,445878	0,348948	0,3140532	0,2791584	0,2442636
Біомаса та біогаз	без обмежень	0,123855	0,123855	0,1114695	0,099084	0,0866985
Мала гідроенергетика	до 200	0,077544	0,19386	0,174474	0,155088	0,135702
	200-1000	0,077544	0,155088	0,1395792	0,1240704	0,1085616
	1000-10000	0,077544	0,116316	0,1046844	0,0930528	0,0814212

Таблиця 3.4 – Частка національної складової фінансування

Тип відновлюваного джерела	Розмір національної складової для об'єктів, введених в експлуатацію			
	01.07.13 – 01.01.14	01.01.14 – 01.07.14	01.07.14 – 01.01.15	після 01.01.15
Вітер	30 %	30 %	50 %	50 %
Сонце	30 %	30 %	50 %	50 %
Біомаса	30 %	30 %	50 %	50 %
Біогаз	0 %	30 %	30 %	50 %

Зважаючи на зазначені заходи, Україна найближчим часом має можливість збільшити частку енергії, отримуваної з відновлювальних джерел, до загальносвітового рівня. Обов'язковим елементом систем електроживлення на основі відновлювальних джерел є хімічні джерела струму, які накопичують та перерозподіляють нестабільну енергію у часі. Вибір типу таких джерел і розрахунок їх параметрів здійснюється залежно від режиму роботи електросистеми.

Питання для самоконтролю за розділом 3

1. Які технологічні заходи дозволяють економити енергію у чорній та кольоровій металургії?
2. Як сухий спосіб виробництва цементу впливає на витрати палива порівняно з мокрим способом?
3. Які заходи у машинобудуванні та металообробці дозволяють знизити питомі витрати палива та електроенергії?
4. Яким чином залізничний транспорт може зменшити витрати палива на перевезення вантажів?
5. Які основні джерела економії енергоресурсів у сільському господарстві?

6. Як використання тепла вентиляційних викидів і спалювання побутових відходів сприяє економії палива?
7. Яким чином підвищення якості продукції впливає на економію енергоресурсів?
8. Які основні проблеми з впровадженням енергозберігаючих технологій у виробленні електроенергії?
9. Які науково-технічні вимоги висуваються до енергозберігаючого устаткування?
10. Чому високі ціни на паливо та електроенергію стимулюють впровадження енергозберігаючих технологій?
11. Які сценарії прогнозу споживання первинної енергії до 2100 року передбачають різні темпи розвитку людства?
12. Які тенденції у структурі використання нафти, газу та вугілля у світовому енергобалансі спостерігаються з ХХ століття?
13. Які країни володіють найбільшими запасами нафти та природного газу, і як це впливає на світове енергоспоживання?
14. Які фактори зумовлюють прогнозоване зростання частки газу у світовому енергоспоживанні?
15. Які основні тенденції у використанні вугілля у різних регіонах світу та його частка у виробництві електроенергії?

РОЗДІЛ 4

ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК

4.1. Зміни клімату в розрізі сталого розвитку

1992 р. в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) відбулася конференція Організації Об'єднаних Націй (ООН) з навколишнього середовища та розвитку. На ній були присутні представники 197 країн світу. Всі учасники одностайно визнали, що потреби людства виходять за межі екологічних можливостей планети.

Першим кроком у всепланетній співпраці став ухвалений на конференції «Порядок денний на XXI століття» («Agenda XXI»), або Програма сталого розвитку. Основна ідея цієї програми полягає в тому, що на всіх рівнях сучасного суспільства – міждержавному, державному, місцевому, індивідуальному – необхідно терміново вжити заходів щодо попередження глобальної екологічної катастрофи. Тобто кожен із нас має усвідомити особисту відповідальність за майбутнє планети.

Одним із ключових моментів у запобіганні екологічній катастрофі є енергозбереження.

В основу сучасної економіки покладено використання енергетичних ресурсів, запаси яких вичерпуються і не відновлюються. Але найбільше непокоїть те, що нинішні способи виробництва енергії завдають непоправної шкоди природі та людині. Відомо, що здоров'я людей значною мірою залежить від стану навколишнього середовища.

Уважно спостерігаючи за подіями у світі, ми знайдемо багато доказів цього. Отож розумне використання ресурсів та енергії – одна з найболючіших проблем людства. Уже визнано, що на Землі почалося глобальне потепління. Його причиною є викиди до атмосфери так званих

парникових газів унаслідок використання невідновлюваних джерел енергії.

Уже сьогодні ми є свідками танення полярних криг і підвищення рівня Світового океану, збільшення кількості природних катаклізмів, зникнення унікальних видів рослин і тварин та поширення небезпечних захворювань. Таке руйнування екологічного балансу ставить під загрозу існування людства, і тому для уникнення глобальної екологічної катастрофи нам необхідна екологічно безпечна стратегія енергетичного розвитку.

Ефективне використання енергії та ресурсів – ключ до успішного розв’язання глобальних екологічних проблем. Заощаджувати енергію повинно все людство і кожна людина зокрема. Використовуючи менше невідновлюваних джерел енергії, ми зменшуємо кількість шкідливих викидів в атмосферу. Заощаджену енергію можна використати замість тієї, яку потрібно було б виробити, і за рахунок цього також зменшити забруднення навколишнього середовища. До того ж заходи з економії енергоресурсів у 2,5–3 рази дешевші, ніж виробництво і постачання споживачам такої самої кількості енергії.

Важливою складовою сталого розвитку сучасної цивілізації є вплив на глобальні процеси зміни клімату, які особливо інтенсивно почали проявлятися протягом останніх років. Пошук шляхів та реалізація проєктів, спрямованих на пом’якшення антропогенного (тобто людського) впливу на зміну клімату, стає одним із головних напрямів сталого розвитку всього людства.

Ми не можемо спрогнозувати, що відбудеться із Землею та людством у найближчому майбутньому, якщо пустити на самоплив процеси глобального потепління. Немає жодної впевненості в тому, що процес потепління відбуватиметься поступово і ми встигнемо вжити запобіжних заходів. Наскільки ми вразливі до проявів стихії, стає очевидним після жаклих ураганів, повеней, цунамі та інших природних катаклізмів. Різка ж глобальне потепління призведе до значно більших руйнувань, а його наслідки можуть бути набагато гіршими, хоч і менш шокуючими порівняно

з наслідками інших екологічних катастроф.

Давайте оцінимо, як ми використовуємо енергію вдома, відповівши на запитання анкети (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Тест на збереження енергії

У нашому домі	Так	Ні
Ми записуємо наше енергоспоживання		
Ми вимикаємо світло в кімнаті, коли виходимо з неї		
Пральна машина завжди повністю завантажена, коли нею користуємося		
Холодильник стоїть у прохолодній кімнаті		
Ми не ставимо меблі перед обігрівачем		
Ми почали використовувати енергозберігаючі лампи		
Ми користуємося місцевим освітленням (настільна лампа, бра, торшер)		
Ми провітрюємо приміщення швидко і ефективно протягом кількох хвилин		
Ми заклеюємо вікна на зиму		
Ми зашторюємо вікна на ніч		
Ми закриваємо кришкою каструлю, коли готуємо їжу		
Ми часто розморожуємо холодильник		
Ми миємо посуд у мийці		
Ми миємося під душем, а не приймаємо ванну		
Ми ходимо пішки чи їздимо на велосипеді до навчального закладу і на роботу		
Ми знижуємо температуру в приміщенні, коли виходимо		
Ми знижуємо температуру в приміщенні вночі		
Ми повторно використовуємо скло, папір і метал		
Ми не купуємо товари, якими можна скористатися лише один раз		
Ми не купуємо товари у великих упаковках		
Ми ремонтуємо речі, замість того, щоб замінити їх		
Додайте усі відповіді ТАК якщо ви отримали: від 1 до 5 відповідей “ТАК” – вам ще багато чого слід навчитися, отже, почніть уже зараз; від 6 до 10 відповідей “ТАК” – у вас багато корисних навичок, які стануть основою для подальшої роботи над собою; від 10 до 15 відповідей “ТАК” – ви гарний взірець для всіх інших; від 16 до 20 відповідей “ТАК” – хтось з вашої родини повинен стати міністром з питань охорони довкілля		

4.2. Основні поняття сталого розвитку

У різних країнах світу термін «сталий розвиток» має власний переклад, а отже – й унікальну інтерпретацію відповідно до особливостей мови та, власне, його розуміння населенням і офіційними особами. Так, наприклад, з англійської мови цей термін дослівно перекладається як «розвиток, що здатний витримати (винести)», з німецької – «розвиток після сильного та тривалого впливу», з французької – «довготривалий розвиток», з італійської – «розвиток, що заслуговує підтримки». Свого часу виникли труднощі із загальним визначенням цього поняття, тобто з виробленням універсальної формули, з якою погодилися б усі.

Дотепер різні фахівці по-різному ставляться до цього поняття, часто сприймаючи його вузькоспеціалізовано – зі своєї професійної точки зору. Одні вважають його економічним терміном, інші – екологічним, треті – соціальним, четверті – політичним, що описує передусім комплекс еколого-економічних дій людського суспільства на соціальному рівні.

Взаємовідносини «людини і природи» завжди були багатограними й не завжди доброзичливими. Вони якісно змінилися в період неоліту, коли людство опанувало землеробство, а згодом – скотарство. Вплив людини на навколишнє середовище ставав дедалі активнішим і різноманітнішим.

Сучасне людство живе в епоху небувалого розвитку науково-технічного прогресу, що супроводжується активним впливом на природне середовище. Сьогодні постійно зростаючі потреби людства забезпечуються стрімким економічним розвитком різних галузей виробництва і, передусім, енергетики. Наслідком такого розвитку є значний негативний вплив на довкілля (викиди шкідливих речовин, значні обсяги парникових газів, безпосередній вплив на навколишнє середовище тощо), а середовище, яке нас оточує, своєю чергою негативно впливає на людство (погіршення здоров'я людей, соціально-економічні наслідки зміни клімату тощо).

Термін «сталий розвиток» характеризує гармонійний, збалансований, безконфліктний прогрес всієї земної цивілізації, груп країн (регіонів, субрегіонів), а також окремо взятих держав за науково обґрунтованими планами. При цьому в процесі постійного економічного розвитку країн одночасно позитивно розв'язується весь комплекс проблем збереження навколишнього середовища, ліквідації експлуатації, бідності та дискримінації окремої людини, цілих народів або груп населення, зокрема за етнічними, расовими чи статевими ознаками. Сталий розвиток – це керований розвиток.

Основою його керованості є наукові принципи системного підходу та сучасні інформаційні технології, які дозволяють швидко моделювати різні варіанти шляхів розвитку, з високою точністю прогнозувати їх результати й обирати найоптимальніші.

Поняття сталого розвитку базується на конструктивному визначенні прав і обов'язків людини та суспільства щодо природних ресурсів, а також на справедливому їх розподілі. Лише це може забезпечити нинішні й майбутні покоління гарантованою кількістю життєво важливих ресурсів за умови постійного зростання добробуту, забезпечення соціальної справедливості та збереження середовища, не освоєного людиною.

Важливою складовою сталого розвитку сучасної цивілізації є вплив на глобальні процеси зміни клімату, які ми вочевидь спостерігаємо протягом останніх років. Пошук шляхів та реалізація проєктів, спрямованих на пом'якшення антропогенного (тобто людського) впливу на зміну клімату, стають одним із ключових напрямів сталого розвитку.

Питання сталого розвитку та зміни клімату під час формування цілей і завдань розвитку країн, регіонів, континентів і цивілізації загалом виходять на перший план із позицій збереження існування людства в найближчій перспективі (у межах одного покоління).

Для України, яка перебуває в пошуку «свого шляху», надзвичайно

важливо не припуститися принципових помилок у виборі напрямку цього розвитку. Ризик полягає в тому, що значно легше віддати перевагу зовні привабливому економічному зростанню без урахування в єдиній цілісній моделі екологічної та соціальної сфер.

В Україні нераціональне господарське освоєння територій, лісокористування та штучне обводнення ґрунтів призвели до активізації повеней, зсувних і осадкових процесів, підтоплення й засолення значних територій і водночас – до зникнення понад 1 000 малих річок. Тому втілення концепції сталого розвитку нашої держави вимагатиме напруженої роботи та консолідованих зусиль політиків, управлінців, учених і всього населення України.

За ініціативою ООН у грудні 1983 р. була створена Міжнародна комісія з навколишнього середовища і розвитку (МКНСР) на чолі з Прем'єр-міністром Норвегії Гро Гарлем Брундтланд. Комісії було доручено: здійснити аналіз глобальних проблем у відносинах між природою і суспільством; виявити причини проблем та чинники, що їх породили; сформулювати мету, яку повинна поставити перед собою світова спільнота; запропонувати концепцію і стратегію розв'язання глобальних проблем.

У 1986 р. МКНСР підготувала доповідь «Наше спільне майбутнє», яку було представлено на 42-й сесії Генеральної Асамблеї ООН. Основні висновки Комісії були такими:

- за останнє сторіччя взаємовідносини між людиною і планетою, що забезпечує її життєдіяльність, докорінно змінилися – виникла загроза існуванню цивілізації та життя на Землі;
- за останні 100 років темпи споживання і, відповідно, економічного зростання різко збільшилися; у виробництво було залучено стільки ресурсів, скільки за всі попередні століття існування людства;
- економічне зростання руйнує природне середовище, призводить до екологічної деградації, що, своєю чергою, підриває сам процес

економічного розвитку;

- у сучасних умовах людство стикається з ризиком незворотного руйнування навколишнього середовища, що загрожує знищенням основ цивілізації та зникненням живої природи Землі; йдеться не про окремі глобальні кризи (екологічну, економічну, продовольчу), а про єдину кризу глобальної системи «людина – природне середовище»;

- швидкість руйнування навколишнього середовища перевищує можливості сучасної науки щодо осмислення можливих наслідків і не дозволяє своєчасно спрогнозувати реальні ризики та, відповідно, внести необхідні зміни до стратегій розвитку окремих регіонів, країн і світової спільноти загалом;

- якщо такі темпи економічного зростання збережуться, то вже через кілька десятиліть неминучою стане деградація природного середовища, що, своєю чергою, призведе до підриву всієї економіки та системи життєзабезпечення Землі.

Публікація доповіді «Наше спільне майбутнє» мала значний суспільний резонанс, а саме поняття «сталий розвиток» набуло широкого поширення.

20 жовтня 1987 р. на пленарному засіданні 42-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН було ухвалено резолюцію з визначенням основного принципу сталого розвитку людства: «Сталий розвиток передбачає задоволення потреб сучасного покоління без загрози можливості майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Цей принцип має стати центральним керівним принципом для ООН, усіх урядів і міністерств, приватних компаній, організацій та підприємств».

Рішеннями Конференції ООН у Ріо-де-Жанейро (червень 1992 р.), документами 5-ї сесії Комісії ООН зі сталого розвитку (Нью-Йорк, квітень 1997 р.) та 19-ї спеціальної сесії Генеральної Асамблеї ООН (Нью-Йорк, червень 1997 р.) міжнародне співтовариство задекларувало перехід до

стратегії сталого розвитку. На конференції в Ріо-де-Жанейро принципи сталого розвитку були ухвалені главами урядів понад 150 країн.

У прийнятому документі «Порядок денний на XXI століття» була окреслена програма переходу до сталого розвитку з соціальної, економічної та екологічної точок зору.

Цими документами визначено глобальну та міждержавну мету сталого розвитку, генеральні напрями діяльності в цій сфері для розвинених країн і країн, що розвиваються. Також було визначено соціально-економічні та політичні пріоритети спільних зусиль, спрямованих на поліпшення стану навколишнього середовища, умов життя населення планети Земля та задоволення його еколого-соціальних і економічних потреб.

4.3. Глобальне потепління та зміна клімату

Клімат Землі постійно змінювався з моменту формування планети. Це залежало від різноманітних геологічних та астрономічних явищ, таких як вулканічна активність або коливання орбіти Землі. Навіть зародження життя на планеті було пов'язане з кліматом. Зміни кліматичної системи відбувалися протягом мільйонів років і відбуваються сьогодні. Але характер та інтенсивність сучасних змін, на відміну від багатомільйонної історії Землі, носить небезпечний характер, ставлячи під загрозу існування людства.

Незаперечним доказом впливу парникового ефекту на глобальне потепління є результати досліджень минулого клімату Землі за аналізом повітряних включень у льодових кернах Антарктиди та Гренландії.

Виявилось, що протягом останніх сотень тисяч років концентрації CO₂ і метану змінювалися синхронно і, що важливіше, у «такт» зі середньопланетарною температурою. Сьогодні ситуація кардинально змінюється. У 2006 р. британські кліматологи, використовуючи суперкомп'ютер, змоделювали процес глобального потепління. Результат

виявився одним із найпохмуріших прогнозів: до 2100 р. третина нашої планети може перетворитися на суцільну пустелю. Перші ознаки цього процесу можна спостерігати вже сьогодні: піски Сахари все частіше накривають південну Європу. Вітри сирого та лібеччо з Лівійської пустелі приносять із-за Середземного моря мільйони тонн піску, що покривають території зловісним жовтим нальотом. До 2020 р. очікувалось повне танення снігу в Альпах, де льодовики активно тануть і зараз.

Спостереження за природними катаклізмами та моделювання можливих змін клімату, обумовлених зростанням концентрації CO₂ в атмосфері, показують, що парниковий ефект проявляється не лише у глобальному потеплінні, а й у збільшенні кількості циклонів у високих широтах Північної півкулі. Це призводить до зміни гідрометеорологічних умов, збільшення стоку Великих Сибірських річок та зміни льодового режиму в Арктиці.

Лише в останні десятиліття минулого століття розвинені країни світу почали серйозно вивчати природні та антропогенні чинники, що формують глобальний клімат. У цьому контексті світова спільнота по-новому розглядає розвиток світової енергетики. Було розроблено різні моделі (сценарії) впливу енергетики та промисловості на навколишнє середовище. Мета цих досліджень – запропонувати варіанти безпечного для клімату розвитку економіки, зокрема будівництва та реконструкції енергетичного сектору з урахуванням загроз для людства та конкретних країн при продовженні екстенсивного використання енергоресурсів і кліматично недружніх технологій.

За прогнозами Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (IPCC), якщо людство прагне утримати швидкість зміни клімату на безпечному рівні, підвищення середньої температури нижніх шарів атмосфери має не перевищувати 1 °C протягом наступних 100 років.

У 2007 р. був оприлюднений IV звіт IPCC про вплив зміни клімату,

адаптацію людей та природи, а також про шляхи пом'якшення наслідків негативного впливу. Робота над цими ґрунтовними документами тривала понад 4 роки і залучила понад 2 500 провідних кліматологів та експертів із більш ніж 130 країн. Висновок одностайний: потепління кліматичної системи є беззаперечним, що підтверджується спостереженнями за підвищенням середньорічних температур повітря та океану, таненням льодовиків і підняттям рівня Світового океану.

Викиди парникових газів протягом ХХІ століття на нинішньому або вищому рівні спричинять подальше потепління та численні зміни глобальної кліматичної системи. Аналіз кліматичних моделей дозволяє визначити середнє підвищення температури Землі внаслідок подвоєння концентрації CO₂ в атмосфері. Найвірогідніші зміни та межі потепління повітря над сушею наведено у шести маркерних сценаріях викидів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Очікувані наслідки змін клімату при різних кліматичних сценаріях

Прогноз	Очікувані наслідки
1	2
+ 2,4	Коралові рифи практично зникають через підвищення температури води Світового океану. У Північній Америці пилові бурі завдають значних збитків сільському господарству. По мірі того як незворотно тоне льодовиковий покрив Гренландії, прискорюється підняття рівня Світового океану, що призводить до затоплення заселених коралових островів та низинних дельт. Зникнення льодовиків у Перуанських Андах залишає без питної води близько 10 млн людей. У глобальному масштабі вимирання загрожує третині всього живого на планеті

Продовження табл. 4.2

1	2
+ 3,4	Тропічні ліси зникають через катастрофічні пожежі. Вся Південна Америка вкрита димом та попелом. Після того як дим розсіється, центральна Бразилія ризикує перетворитися на пустелю. Величезні кількості CO₂ додатково викидаються в атмосферу, що ще більше посилює глобальне потепління. Полярна шапка протягом літніх місяців повністю зникає, залишаючи Північний полюс без льоду вперше за останні 3 млн років. Полярні ведмеді, моржі та нерпи опиняються під загрозою зникнення. Через танення снігового покриву в горах мільйони людей залишаються без питної води. Пустеля Калахарі поширюється на всю південну Африку. Десятки мільйонів людей змушені мігрувати в інші регіони та країни, що призводить до соціальних, економічних проблем і заворушень
+ 4,4	Виникнення льодовиків у горах та танення криги в полярних районах змушує десятки мільйонів людей емігрувати, особливо в Бангладеш, дельти річок Ніл та Нігер, а також у Шанхай. Швидке зростання температури в Арктиці призводить до танення вічної мерзлоти в тундрі та Сибіру, що супроводжується вивільненням великих кількостей метану та CO₂. Як наслідок, глобальні температури продовжують швидко зростати. Суховії та посухи роблять більшість субтропічних територій непридатними для життя, і великомасштабне мігрування охоплює навіть Європу, де пустелі поширюються на південну Іспанію, Італію та Грецію. Більше половини диких видів зникає внаслідок наймасштабнішого вимирання від епохи динозаврів. Ведення сільського господарства в Австралії стає неможливим
+ 5,4	Зникає льодовикове покриття на заході Антарктики, що призводить до підвищення рівня Світового океану на 5 м. Якщо високі температури збережуться, лід на планеті може повністю зникнути, а рівень моря буде на 70 см вищим, ніж сьогодні. Внаслідок танення льодовиків у Гімалаях та висихання річки Інд страждають народи південної Азії, тоді як мільйонам людей у східній Індії та Бангладеш загрожують катастрофічні повені. Супер-Ель-Ніно спричиняють глобальний погодний хаос. Більшість людей шукає порятунку від високих температур у приполярних регіонах. Десятки мільйонів біженців прагнуть досягти Скандинавії та Британських островів. Світовий ринок продуктів опиняється під загрозою зникнення

Закінчення табл. 4.2

1	2
+ 6,4	Більшість видів на планеті вимирає. Підвищення температури Світового океану призводить до вивільнення метану з океанічного дна, що ще більше посилює глобальне потепління. Океани втрачають кисень і застоюються, виділяючи отруйний сульфід водню, який руйнує озоновий шар. Пустелі поширюються майже до Арктики. Планетою рухаються гіпербурі небаченої сили та жорстокості, що викликають шторми й руйнують усе на своєму шляху на суші. Людство скорочується до невеликих груп, яким вдається дивом вижити у приполярних зонах. Через підвищення температури, більшого, ніж будь-коли за останні 400 млн років, більшість життя на планеті зникає

Ймовірно, що коливання температур будуть у межах 2–4,5 °С. На думку вчених, уразливі екосистеми можуть постраждати вже при підвищенні температури на 1,2 °С. При потеплінні на 2,3 °С почнуться масштабніші пошкодження екосистем, а при 3 °С – початок великомасштабних незворотних руйнувань, що протягом наступного тисячоліття може призвести до різкого зниження біорізноманіття на Землі.

Протягом століть людство вважало, що природа невичерпна, а її ресурси безмежні. Тепер ми знаємо, як жорстоко помилялися. Діяльність людини впливає не лише безпосередньо на природу, а й на клімат планети. Уже декілька десятиліть очевидно, що концентрація парникових газів в атмосфері – CO₂, метану, оксидів азоту та інших – за останні 250 років різко зросла. Основною причиною є спалювання викопного палива (вугілля, нафти, природного газу), а також знеліснення через неконтрольовану вирубку та розширення площ сільськогосподарських угідь.

Багато в чому відповідальність за глобальне потепління лежить на людстві. Саме від нас залежить збереження десятків тисяч видів тварин і рослин, що зараз перебувають під загрозою зникнення через антропогенне глобальне потепління.

4.3.1. Регіональні наслідки глобального потепління

Північна Америка. Підйом рівня морів створить загрозу для частини Флориди, територій у дельті Міссісіпі та на узбережжі Атлантичного океану. Тут почнеться інтенсивна ерозія прибережних ґрунтів і їх руйнування під час штормів. У довгостроковій перспективі підняття рівня моря загрожує затопленням усіх великих міст на східному узбережжі. Погодні аномалії призведуть до підвищеного забруднення повітря і зростання смертності, а посуха в багатьох районах підвищить ризик лісових пожеж. Хвороби, що переносяться комахами, такі як малярія та тропічна лихоманка, поширяться на північ. Загалом уразливість Північної Америки низька, а здатність пристосовуватися завдяки розвиненій економіці – висока.

Південна Америка. Очікується збільшення числа повеней і посух, що призведе до нестачі продуктів харчування і голоду. Сильніші або частіші тропічні урагани можуть спричинити значні руйнування з ризиком для життя людей, населених пунктів і інфраструктури, що особливо небезпечно для бідних країн регіону.

Полярні області. Кліматичні зміни на полюсах, особливо в Арктиці, будуть наймасштабнішими і найшвидшими на планеті, що призведе до великих соціальних і економічних катаклізмів у країнах, залежних від арктичних екосистем та їх фауни.

Європа. В деяких районах Західної та Східної Європи вже спостерігається збільшення інтенсивності опадів, що призвело до зростання числа повеней. Зросте ризик повеней і ерозії ґрунтів у прибережних регіонах, що негативно вплине на густонаселені райони, промисловість, туризм і сільське господарство. У Південній Європі літні опади зменшаться, що знизить продуктивність сільського господарства, а зимові опади навпаки зростуть майже по всій території. Спекотне літо та тепло зі сніговими заносами взимку вплинуть на традиційний туризм. Загалом здатність

Європи пристосовуватися до змін висока, але найбільш уразливими залишаються північні та південні райони.

Африка. Очікується збільшення кількості й інтенсивності екстремальних явищ – посух і повеней. Постраждають водоймища з питною водою, зросте нестача продуктів харчування, погіршиться здоров'я населення, руйнуватиметься інфраструктура, сповільниться розвиток країн. Північні та південні регіони стануть ще сухішими, що посилить процеси опустелювання. Зниження сільськогосподарської продуктивності призведе до нестачі продуктів і підвищить ризик голоду, особливо під час посух. Загалом здатність Африки пристосовуватися низька, а вразливість до посух і повеней – дуже висока.

Азія. Підвищення рівня моря у поєднанні з посиленням циклонів може змусити понад 100 мільйонів людей змінити місце проживання протягом наступних 100 років. Природні катаклізми вже почали зростати на початку XXI століття і продовжать посилюватися при глобальному потеплінні, спричиняючи повені, посухи, лісові пожежі та тропічні циклони. Виробництво продуктів сільського господарства знизиться через спеку, нестачу води та підняття рівня моря, що збільшить ризик голоду. Загалом здатність країн Азії, що розвиваються, пристосовуватися низька, а кліматичні зміни завдадуть значних збитків.

Австралія та Нова Зеландія. Активізація феномену Ель-Ніньо може спричинити нестачу питної води. Інтенсивність гроз та тропічних циклонів зросте, що підвищить ризик для життя людей і руйнування інфраструктури.

Океанія. Підйом рівня моря посилить ерозію прибережних ґрунтів, втрату суші та ризик штормового нагону води. Солоною водою можуть бути забруднені водойми з прісною водою. Коралові рифи та інші прибережні екосистеми опиняться під загрозою зникнення, а рибальство, що є основним джерелом продуктів харчування для багатьох островів, сильно постраждає. Деякі низько розташовані острови можуть повністю зникнути під водою, змушуючи людей мігрувати та залишати свої домівки.

4.4. Пом'якшення змін клімату: проблеми та рішення

Проблеми зміни клімату та глобального потепління тісно пов'язані з неефективністю традиційної енергетики. Перетворення енергії природних ресурсів на інші види енергії супроводжується значними втратами. Якщо підрахувати середні показники ефективності перетворення енергії на теплових станціях України та показники використання електроенергії споживачами, то можна констатувати, що в цьому процесі втрачається до 73 % енергії, тобто використовується лише близько 27 % первинної енергії. Решта потрапляє у навколишнє середовище у вигляді втрат, що спричиняє забруднення атмосфери шкідливими речовинами та парниковими газами, а також теплове забруднення довкілля.

З появою нових технологій вироблення енергії в світі почалося активне впровадження «зеленої» енергетики. З'явилися ефективні джерела малої енергетики (джерела розподіленої генерації), які мають високі показники використання первинного органічного палива та мінімальний вплив на екологію. У перспективі очікується комбіноване використання централізованих і децентралізованих систем – інтегрованих систем енергопостачання.

Інтегровані системи енергопостачання – це системи, які є найбільш вигідними для забезпечення безперебійного постачання енергії, високої якості енергопослуг, доступних за ціною та екологічно прийнятних, зокрема щодо викидів CO₂.

21 жовтня 2021 р. Верховна Рада України прийняла закон «Про енергетичну ефективність», розроблений на виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, підписаної у 2014 р. Цей закон визначає правові, економічні та організаційні засади відносин у сфері енергоефективності під час виробництва, транспортування, передачі, розподілу, постачання та споживання енергії.

У цьому Законі передбачено 21 стаття:

Стаття 1. Визначення термінів: вимога до екодизайну; високоефективна когенераційна установка, економія енергії, енергетична ефективність, енергетичне маркування, енергетичний аудит, енергетичний аудитор, енергія, енергоефективні заходи, ефективне централізоване теплопостачання та інші.

Стаття 2. Предмет та сфера дії Закону.

Закон регулює відносини, що виникають у сфері забезпечення енергетичної ефективності, та спрямований на посилення енергетичної безпеки. Сфера забезпечення енергетичної ефективності охоплює енергоефективні заходи.

Стаття 3. Державна політика у сфері забезпечення енергетичної ефективності.

Державна політика у сфері забезпечення енергетичної ефективності є невід’ємною частиною політики у сферах енергетики, економіки, сталого розвитку та охорони навколишнього природного середовища.

Стаття 4. Управління у сфері забезпечення енергетичної ефективності.

Управління у сфері забезпечення енергетичної ефективності у межах своїх повноважень здійснюють: Кабмін України, центральний орган виконавчої влади, Національна комісія, органи місцевого самоврядування.

Стаття 5. Планування у сфері енергоефективності.

Державна політика у сфері забезпечення енергетичної ефективності спрямована на досягнення національної цілі з енергоефективності, що встановлюється в Національному плані дій з енергоефективності та Національному плані з енергетики та клімату.

Стаття 6. Енергетичне планування на місцевому рівні.

Це муніципальні енергетичні плани, регіональні енергетичні плани.

Стаття 7. Придбання енергоспоживчої продукції та послуг, пов'язаних із споживанням енергії, а також придбання чи найм будівель.

При проведенні публічних закупівель енергоспоживчої продукції, вимоги до якої визначені в законодавстві щодо енергетичного маркування, екологічного маркування та екодизайну.

Стаття 8. Вимоги до екодизайну та енергетичного маркування продукції, пов'язаної із споживанням енергії.

Для енергоспоживчої продукції (товарів) можуть встановлюватися вимоги до екодизайну та енергетичного маркування.

Стаття 9. Забезпечення щорічного підвищення енергоефективності споживання енергії.

З метою забезпечення сталого підвищення енергоефективності кінцевого споживання енергії встановлюється цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії.

Стаття 10. Енергетичний аудит.

Енергетичний аудит здійснюється енергетичним аудитором, який є незалежним і не має конфлікту інтересів, обмеження щодо реєстрації витягів із звітів з енергетичного аудиту в базі даних.

Стаття 11. Енергетичні аудитори.

Підтвердження кваліфікації осіб, які мають намір проводити діяльність із здійснення енергетичного аудиту за відповідним напрямом (процеси, транспорт), проводиться кваліфікаційними організаціями, акредитованими у встановленому Кабміном України порядку

Стаття 12. Системи енергетичного менеджменту.

Системи енергетичного менеджменту впроваджуються з метою: аналізу споживання енергії, планування, реалізації та моніторингу результатів впровадження енергоефективних заходів, досягнення цілей

Національного плану, виконання інших заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності споживачів енергії.

Стаття 13. Національна система моніторингу енергоефективності.

Національна система моніторингу енергоефективності – єдина централізована інформаційна система, яка функціонує на основі програмних, технічних засобів та інформаційних технологій, що забезпечує збирання, обробку, зберігання, захист, перегляд і використання інформації у сфері забезпечення енергетичної ефективності.

Стаття 14. Інтелектуальні системи обліку енергії.

Технічна політика щодо встановлення інтелектуальних систем обліку операторами систем передачі, операторами систем розподілу розробляється та затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику в електроенергетичному, ядерно-промисловому, вугільно-промисловому, торфодобувному, нафтогазовому та нафтогазопереробному комплексі.

Стаття 15. Стимулювання енергоефективності у сфері передачі та розподілу електричної енергії, транспортування та розподілу природного газу.

Оператори системи передачі та оператори системи розподілу кожні п'ять років до 1 березня здійснюють оцінку потенціалу енергоефективності газотранспортної системи, системи передачі енергетичної енергії, газорозподільної системи, системи розподілу електричної енергії в Україні.

Стаття 16. Стимулювання ефективності у сфері теплопостачання.

Органи місцевого самоврядування розробляють схеми теплопостачання населених пунктів України відповідно до методик, затвердженої центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері житлово-комунального господарства, за принципом оптимального поєднання різних систем теплопостачання, з використанням методу аналізу витрат і вигід.

Стаття 17. Енергосервіс.

Об'єктом енергосервісу можуть бути будівля, будинок, інша споруда або їх комплекс, група будівель, об'єднаних єдиним технологічним циклом, щодо яких здійснюються енергоефективні заходи при виконанні енергосервісного договору.

Стаття 18. Популяризація та стимулювання підвищення рівня енергоефективності серед споживачів.

Стимулювання споживачів до впровадження енергоефективних заходів здійснюється шляхом: інформування про надання фінансування на впровадження енергоефективних заходів (грантів, субсидій, здешевлення кредитів, надання безповоротної фінансової та технічної допомоги); поширення інформації та здійснення інформаційно-освітніх енергоефективних заходів; реалізація та популяризація пілотних проєктів; стимулювання зміни режиму споживання енергії на робочому місці; заохочення до впровадження інтелектуальних систем обліку енергії.

Стаття 19. Державні фонди стимулювання енергоефективності.

Для реалізації державної політики у сфері енергоефективності створюються: фонд енергоефективності, який діє відповідно до Закону України «Про Фонд енергоефективності», державний фонд декарбонізації та енергоефективної трансформації та інші державні фонди.

Стаття 20. Відповідність за порушення законодавства у сфері забезпечення енергетичної ефективності.

Особи, винні в порушенні вимог законодавства у сфері забезпечення енергетичної ефективності несуть відповідальність відповідно до закону.

Стаття 21. Прикінцеві та перехідні положення.

Сфера забезпечення: енергоефективні заходи, що здійснюються під час виробництва, транспортування, передачі розподілу, постачання та споживання енергії. Закон спрямований на імплементацію наступних документів: Директиви 2012/27/ЄС про енергетичну ефективність;

Директиви 2009/125/ЄС про рамки для встановлення вимог до екодизайну пов'язаних з енергоспоживанням продуктів; Регламенту (ЄС) 2017/1369 про встановлення рамок для енергетичного маркування.

Запровадження системи енергетичного менеджменту дозволить контролювати обсяги споживання енергії та оперативно врегульовувати відхилення від встановлених норм. Також будуть розроблені заходи для підвищення енергоефективності. Стратегія термомодернізації будівель спрямована на розробку економічно доцільних підходів для різних типів будівель та кліматичних зон і їх впровадження.

Органи державної влади та органи місцевого самоврядування, які планують придбати або орендувати будівлі, мають обирати виключно ті будівлі, енергетична ефективність яких відповідає мінімальним вимогам законодавства. Ця вимога не поширюється на будівлі, що належать до об'єктів культурної спадщини, підлягають реконструкції або знесенню, призначені для подальшого продажу без використання для власних потреб, а також на будівлі з документально підтвердженою економічною чи технічною недоцільністю підвищення ефективності.

Закон також встановлює вимоги до екодизайну та енергетичного маркування продукції, пов'язаної зі споживанням енергії, що має відповідати технічним регламентам, розробленим на основі актів законодавства ЄС.

Було введено поняття «енергетичний аудит». Протягом трьох років після набрання чинності Законом «Про енергетичну ефективність» великі підприємства, визначені Господарським кодексом України, повинні провести перший енергетичний аудит. У разі отримання державної підтримки аудит проводиться кожні чотири роки. Законом також визначені вимоги до енергетичних аудиторів, які проводять аудит за відповідними напрямками (будівлі, процеси, транспорт).

Системи екологічного менеджменту впроваджуються з метою: планування, реалізації та моніторингу результатів впровадження енергоефективних заходів; досягнення цілей Національного плану; виконання інших заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності споживачів.

Моніторинг усіх заходів здійснюватиметься через створення Національної системи моніторингу енергоефективності – єдиної централізованої інформаційної системи, що функціонує на основі програмних, технічних та інформаційних технологій і забезпечує збір, обробку, зберігання, захист, перегляд і використання даних у сфері енергоефективності.

Стимулювання енергоефективності у сфері передачі та розподілу електроенергії, транспортування та розподілу природного газу передбачає впровадження «розумних мереж», концепція яких визначена у ст. 15 Закону. Методика оцінки потенціалу енергоефективності газотранспортної та електромереж розробляється з урахуванням вимог актів законодавства ЄС та рішень Енергетичного Співтовариства. Окремим розділом оцінюється потенціал застосування ефективного централізованого теплопостачання та високоефективної когенерації на основі аналізу витрат і вигід.

Стаття 18 Закону визначає шляхи стимулювання споживачів до впровадження енергоефективних заходів, а стаття 20 – відповідальність за порушення законодавства.

Енергоефективність є ключовим аспектом у будівництві в Європі, оскільки сприяє довгостроковому скороченню викидів CO₂, економії енергії на 5–10 % та ресурсів, а також дозволяє оцінити та розробити оптимальні варіанти модернізації для існуючих мереж і обладнання. При проходженні процедури «зеленої» сертифікації (BREEAM, LEED, WELL) цей аспект є одним із ключових при оцінці проєктів як існуючих, так і нових.

Для економії енергії теплового обладнання необхідно провести оцінку стану теплотехнічного парку та розробити заходи з енергозбереження при експлуатації теплових агрегатів. Підприємства, зацікавлені у зниженні витрат на енергію, мають розробити проекти модернізації парку обладнання з урахуванням витрат та економічної доцільності.

Серед заходів енергозбереження:

- використання малоінерційних і низькотеплопровідних матеріалів;
- зменшення термічної маси та оптимізація завантаження;
- застосування сучасних технологій герметизації;
- внутрішня рекуперація тепла;
- рівномірний розподіл потужності всередині термічного обладнання (реконструкція нагрівачів, застосування примусової конвекції);
- сучасні системи контролю та управління;
- високоефективні системи спалювання палива з подачею підігрітого повітря;
- інші прогресивні технології, зокрема швидкісний режим теплообробки та нагрівання токами високої частоти.

Існують також способи економії енергії, що не потребують великих витрат: раціональне завантаження робочого простору (не менше 70 %); складання оптимальних графіків роботи; подовжений режим експлуатації обладнання; контроль та облік енерговитрат; місцеві ущільнення елементів обладнання; використання вторинних енергоресурсів (відхідних газів, нагрітого повітря).

Економія енергоносіїв забезпечується за рахунок зменшення витрат палива, скорочення часу розігріву обладнання, зниження тепловтрат, оптимізації споживаної потужності, скорочення міжремонтних простоїв та підвищення продуктивності обладнання. Також можливо зниження споживання зрідженого газу за рахунок футерівки обладнання та застосування ефективних режимів нагрівання і випалу.

Питання для самоконтролю за розділом 4

1. У якому році відбулася конференція ООН у Ріо-де-Жанейро, де було ухвалено «Порядок денний на XXI століття»?
2. Яка основна ідея програми «Agenda XXI»?
3. Чому енергозбереження є ключовим фактором запобігання глобальній екологічній катастрофі?
4. Які наслідки глобального потепління вже спостерігаються сьогодні?
5. Що означає термін «сталий розвиток» з економічної, екологічної та соціальної точок зору?
6. Назвіть основні причини сучасного глобального потепління.
7. Як діяльність людини впливає на клімат планети?
8. Які регіони світу є найбільш уразливими до зміни клімату і чому?
9. Що передбачає закон України «Про енергетичну ефективність» у сфері підвищення енергоефективності?
10. Які заходи сприяють зменшенню шкідливих викидів та економії енергії вдома?
11. Які наслідки глобального потепління передбачаються при підвищенні температури на 2–5 °C?
12. Що таке інтегровані системи енергопостачання і яку роль вони відіграють у сталому розвитку?
13. Які міжнародні документи визначають принципи сталого розвитку?
14. Чому надмірне економічне зростання може бути небезпечним для довкілля?
15. Які кроки держава та населення можуть здійснити для пом'якшення змін клімату?

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ: РЕЦИКЛІНГ ТА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ

5.1. Визначення та значення рециклінгу

Рециклінг – це повторне використання або повернення в промислове виробництво багатьох матеріалів, які містяться у відходах промисловості, будівництва та побутової сфери, що забруднюють довкілля; повернення в обіг відходів виробництва; виготовлення з вторинної сировини нових матеріалів і товарів; виділення з відходів корисних фракцій і утилізація того, що визнано безповоротними відходами; отримання енергії від спалювання або піролізу промислового та побутового сміття.

Населення Землі невпинно зростає, проте природні ресурси планети, від яких наш спосіб життя все більше залежить, обмежені. Ми споживаємо їх надто швидко і не дбаємо про ефективну утилізацію. Якщо не змінити підходи, за кілька десятиліть природа вже не зможе задовольняти людські потреби. А це означатиме серйозні екологічні й економічні проблеми.

Саме тут значення рециклінгу неможливо переоцінити. Він дає можливість повертати вживані ресурси до повторного використання замість того, щоб виснажувати запаси й видобувати нові. Це економить енергію, захищає довкілля та стимулює економічний розвиток.

Багато країн світу вже досягли помітних успіхів у цій сфері, де рециклінг є основою сталого майбутнього. Рециклінг також допомагає розв'язати проблему глобального забруднення довкілля, перетворюючи відходи на нові матеріали та продукти. Адже це не тільки зменшує потребу в нових сировинних ресурсах, але й знижує викиди парникових газів, пов'язаних із виробництвом нових матеріалів.

Існує кілька основних типів рециклінгу, які повертають відходи до вторинного використання.

Рециклінг полімерів включає переробку таких матеріалів, як поліетилен та поліпропілен, які широко використовуються в упаковці та інших продуктах, на вторинну сировину. Зібрані полімери подрібнюються і формуються у гранули для подальшого використання. Рециклінг пластику набув найбільшої популярності, адже саме пластик становить більшість усіх твердих побутових відходів. Найчастіше пластик переробляють на нові упаковки, меблі та будівельні матеріали.

І, нарешті, рециклінг відходів виробництва і споживання – це один із найважливіших аспектів рециклінгу, адже він стосується великої кількості матеріалів, які ми виробляємо й використовуємо у промисловості. Від металевих стружок до хімічних речовин, відходи виробництва можуть бути небезпечними та вимагають особливої уваги під час утилізації. Рециклінг цих матеріалів не тільки зберігає природні ресурси, але й зменшує забруднення довкілля.

Попри безперечні переваги для довкілля, має рециклінг свої плюси та мінуси. Одним з головних плюсів – це збереження природних ресурсів. Завдяки рециклінгу ми повертаємо до вжитку вторинну сировину замість того, щоб видобувати нову. Це знижує антропологічний тиск на довкілля. Також рециклінг економить енергію, адже виготовлення продукції з первинної сировини потребує набагато більше енергії, ніж з вторинної. Це й створення нових робочих місць у сфері збору, сортування та перероблення відходів. А також економічні вигоди, такі як зменшення витрат на утилізацію відходів та отримання прибутку від продажу перероблених матеріалів.

Тож, якщо підсумувати плюси рециклінгу: збереження природних ресурсів, щоразу, коли ми переробляємо папір, пластик чи скло, ми зменшуємо потребу в нових сировинних ресурсах; збереження енергії,

виробництво продуктів з перероблених матеріалів часто вимагає менше енергії, ніж виробництво з нових матеріалів; зменшення забруднення повітря та води, адже знижується потреба в процесах, які викликають ці проблеми. Економічні переваги рециклінгу – створення робочих місць та підтримка економіки.

Проте існують в рециклінгу і свої мінуси, а саме: висока вартість рециклінгових технологій та складнощі, пов'язані з якістю сортуванням відходів. Це також пов'язано і з самими відходами. Не всі матеріали можна переробити, а деякі потребують складної сортувальної роботи, не всюди є спеціалізовані центри та техніка. Також рециклінг потребує значних фінансових витрат, а виторг від продажу вторинної сировини часто їх не окупає. Також є проблеми з мотивацією людей до участі у процесі, ще далеко не кожен розуміє, наскільки це важливо. Початкові інвестиції в рециклінгові програми можуть бути значними, і не завжди вони економічно вигідні. Деякі процеси рециклінгу можуть виробляти забруднювачі, які потребують додаткового очищення. Не всі матеріали можуть бути ефективно перероблені, і деякі втрачають якість після кількох циклів переробки. Незважаючи на зусилля, багато людей все ще не розуміють важливість рециклінгу або не знають, як правильно його проводити. Важливо й те, що рециклінг – це тільки частина рішення, не менш важливо зменшувати кількість відходів на самому початку виробництва та споживанні.

Україна має великий потенціал для розвитку рециклінгової індустрії. Свідомість громадськості зростає, а підтримка влади зміцнюється, що створює умови для розширення інфраструктури та покращення системи управління відходами. Рециклінг є ключовою частиною стратегії збереження довкілля, і за допомогою інвестицій, інновацій та освітніх програм країна може досягти значного прогресу у цій галузі.

Наразі в Україні працює 91 підприємство-переробник різних видів відходів. Одним із прикладів успішної практики є завод Polygreen у Фастові, який переробляє поліетиленові відходи у вторинну гранулу для виробництва нових пластикових виробів. Корпорація «Біосфера» виробляє пакети для сміття, що містять до 80 % вторинної сировини, демонструючи, що рециклінг може бути не лише екологічно, а й економічно вигідним.

Проте галузь стикається з певними викликами. Часто підприємства не можуть працювати на повну потужність через нестачу якісної сировини. Це потребує розвитку культури сортування відходів серед населення та впровадження ефективних систем їх збору.

Перспективи розвитку рециклінгу в Україні величезні. За оцінками експертів, рентабельність бізнесу у цій сфері може сягати 60–80 %, що робить інвестиції у рециклінг одночасно корисними для довкілля та прибутковими для бізнесу. Щороку 15 листопада відзначається Всесвітній день рециклінгу, метою якого є привернення уваги влади, громадськості та промислових структур до важливості повторної переробки відходів.

5.2. Проблеми накопичення та переробки відходів

Переробка відходів – це здійснення технологічних операцій, пов'язаних зі зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей відходів з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації або видалення. Міста з високою концентрацією населення відрізняються утворенням великої кількості промислових відходів, які можуть бути твердими, рідкими, газоподібними, а також побутовими чи промисловими.

Між країнами існують суттєві відмінності щодо кількості відходів. Так, міста Франції та Великобританії щорічно утворюють до 50 млн т промислових відходів кожне, Німеччина – до 60 млн т, Італія – до 44 млн т. До цього додаються побутові відходи, кількість яких сягає до 20 млн т на

рік. У Японії на одну людину щодня припадає близько 2 кг відходів, у Франції – 620 г, а у США – понад 2 кг. В Україні обсяг твердих відходів становить приблизно 10 млн т, при цьому звалища займають близько 2 600 гектарів земель. У середньому на одну людину в містах України щорічно припадає близько однієї тонни твердих відходів.

Типовий склад міських відходів включає папір і картон, побутові залишки, гуму, шкіру та деревину, харчові відходи, метали, скло та інші матеріали. Структура відходів залежить від національних особливостей і традицій населення: у Індії частка харчових відходів низька, тоді як у США вона сягає 21 %. Для міст розвинутих країн характерна значна частка різних видів пластику.

Проблема відходів має високу гостроту через низьку швидкість їх розкладання. Наприклад, папір руйнується протягом 2–10 років, консервні банки – майже 100 років, поліетиленові матеріали – 200 років, пластмасові вироби – близько 500 років, а скло потребує до 1000 років для повного розпаду. Скидання відходів у море в контейнерах не гарантує безпечного збереження води, оскільки матеріали контейнерів схильні до корозії. Металеві контейнери руйнуються у морському середовищі приблизно за 10 років, а бетонні – протягом 30 років.

З середини 1990-х років у Європі та Північній Америці виник рух фриганів – людей, які відкидають економічну систему споживання. Вони знаходять їжу, одяг та домашні речі на смітниках і у контейнерах, використовуючи їх повторно або обмінюючи на інші предмети без участі грошей.

Хімічні процеси та реактори, об'єднані в хіміко-технологічні системи, є основою виробництва в багатьох галузях промисловості, включаючи лісохімію, харчову промисловість, хіміко-фармацевтичну галузь, виробництво мінеральних добрив, будівельних матеріалів та

фотоматеріалів. Продукти хімічної промисловості забезпечують хімізацію всього народного господарства, зокрема й агропромислового комплексу.

Розвиток хімічної промисловості потребує постійної роботи над впровадженням високоефективних енерго- та ресурсозберігаючих, а також екологічно чистих технологій. Незважаючи на переваги та матеріали, які надає хімічна промисловість, існує серйозна проблема – забруднення довкілля відходами. Викиди відходів у всі частини біосфери призводять до значних негативних наслідків для довкілля та здоров'я людини.

5.3. Основні викиди, які утворюються в процесі хімічних виробництв

Всі відомі технологічні процеси хімічного виробництва супроводжуються утворенням великої кількості відходів у вигляді шкідливих газів, пилу, шлаків, шламів та стічних вод, що містять різні хімічні компоненти, які забруднюють атмосферу, воду та поверхню землі. Хімічна промисловість спричиняє значні викиди метану, аміаку та пилу, а загальні обсяги промислових викидів у повітряний простір є колосальними. Найбільш небезпечними забруднювачами атмосфери є кислотоутворюючі оксиди азоту та сірки, вуглекислий та чадний гази, аміак, фтор, хлор, а також промисловий пил. Надходження цих речовин у повітря значно змінило його склад порівняно з доіндустріальним періодом.

Основними джерелами забруднення атмосфери в металургійній промисловості є коксохімічне, агломераційне та сталеплавильне виробництво. Коксохімічне виробництво виділяє оксиди та діоксини вуглецю, оксиди сірки, а на одну тонну переробленого вугілля припадає близько 0,75 кг діоксиду сірки та 0,03 кг різних вуглеводнів і аміаку. Поблизу коксохімічних заводів середній вміст діоксиду сірки в повітрі становить від 0,05 до 0,2 мг/м³.

Цехи сіркоочистки коксохімічних заводів зазвичай обладнані електрофільтрами, проте через них в атмосферу потрапляють сірчаний газ, сірководень, діоксин азоту та аерозоль сірчаної кислоти. Вміст сірководню у вихідних газах становить $0,14 \text{ мг/м}^3$, діоксину азоту – $0,9 \text{ мг/м}^3$. Розрахунки показують, що на відстані одного кілометра від цеху концентрація сірчаного газу в повітрі може досягати $0,2 \text{ мг/м}^3$. Крім газів, коксохімічне виробництво виділяє близько 3 кг вугільного пилу на кожну тонну переробленого вугілля, при цьому під час розвантаження вугілля утворюється додатковий пил у кількості 0,005 % від маси вантажу.

Джерелами забруднення повітря на аглофабриках є агломераційні стрічки, барабанні та чашеві охолоджувачі, випалювальні печі, а також вузли пересилки, транспортування та сортування агломерату та інших компонентів шихти. Обсяг агломераційних газів становить від 2,5 до 4 тисяч м^3 на одну тонну отриманого агломерату, при вмісті пилу від 5 до 10 г/м^3 . Газовий склад включає оксиди сірки та вуглецю, а пил містить залізо та його оксиди, оксиди марганцю, магнію, фосфору, кальцію, іноді частинки титану, міді та свинцю.

Сірчистий газ SO_2 утворюється як побічний продукт металургійного виробництва та спалювання кам'яного вугілля чи нафти, що містять домішки сірки. Незважаючи на жорсткий державний контроль і застосування економічних санкцій на наднормативні викиди, обсяги викидів сірчистого газу залишаються значними у промислово розвинених країнах.

Виробництво сталі супроводжується значними викидами газів і пилу в атмосферу. Виплавка однієї тонни сталі призводить до виділення приблизно 0,04 т твердих часток, 0,03 т діоксиду сірки та близько 0,05 т оксиду вуглецю. Пил містить сполуки марганцю, заліза, міді, цинку, кадмію, свинцю та інших металів. При виплавці високолегованих і складно легованих сталей у пил також потрапляють діоксид кремнію, сполуки сірки

і фосфору, оксиди ванадію та хрому, сполуки нікелю, молібдену, селену, телуру та інші елементи. Кількість газів та вміст у них твердих часток залежать від способу виробництва сталі, застосування кисневого дуття та інших технологічних факторів.

Забруднення навколишнього середовища поблизу підприємств чорної металургії відчутне на відстані 20–50 км залежно від напрямку вітрів. На площі одного квадратного кілометра щоденно випадає від 5 до 15 кг пилу. Поблизу металургійних заводів формуються своєрідні техногенні зони, у ґрунті, снігу, воді та рослинності яких накопичується широкий спектр шкідливих речовин, включно з надзвичайно небезпечними, такими як свинець та ртуть.

Чорна металургія є одним із найбільших споживачів води. Сучасний завод витрачає на виробництво однієї тонни сталі приблизно 180–200 м³ води. Незважаючи на широке використання оборотного водопостачання, обсяги стічних вод залишаються значними. Вони містять механічні домішки органічного походження, гідроксиди металів, стійкі та легкі нафтопродукти, а також токсичні сполуки органічного та неорганічного походження. Якісний склад забруднення стічних вод приблизно однаковий, проте концентрація забруднювачів значно коливається залежно від технологічних процесів.

Стічні води аглофабрик містять залізо, оксид кальцію та вуглець. На коксохімічних заводах вони утворюються внаслідок роботи хімічних цехів (фенольні стічні води) і процесу гасіння коксу. Витрати свіжої води на тонну коксу складають 1,2–1,6 м³ за умови використання фенольної води для гасіння коксу. Під час очистки коксового газу від сірководню миш'якосодовим методом щогодини утворюється 4–6 м³ стічних вод, що містять феноли, аміак, сірководень, ціаніди та бензольні вуглеводи, які є канцерогенними речовинами.

У виробництві сталі стічні води формуються при очистці газів мартенівських печей і конверторів, охолодженні та гідроочистці виливниць, пристроях безперервного розливання сталі та обмиванні котлів-утилізаторів. При киснево-конверторній виплавці сталі вміст завислих часток у стічних водах систем очистки газу може досягати 7000 мг/л.

Скиди забруднених вод металургійних підприємств у водойми призводять до збільшення кількості завислих часток, значна частина яких осідає поблизу місць скиду. Підвищується температура води та погіршується кисневий режим, а винос мастильних продуктів із прокатних цехів утворює масляну плівку на поверхні водоймища. Потрапляння шкідливих речовин може спричинити загибель водних організмів та порушення природних процесів самоочищення. Метали, їхні сполуки та інші неорганічні речовини, що містяться в стічних водах, завдають шкоди людям, тваринам, макро- та мікроорганізмам, а також рослинному світу.

Технологічні процеси хімічної промисловості утворюють значну кількість твердих відходів, які накопичуються на великих площах та негативно впливають на ґрунт, рослинність, водні джерела й атмосферу. Звалища твердих відходів займають тисячі гектарів родючого ґрунту та містять близько 500 млн т шлаків. Шламопилові відходи утворюються практично на всіх стадіях виробництва.

В Україні щороку утворюється близько 80 млн т доменних, сталеплавильних та феросплавних шлаків, а також 1 млн т шлаків і 110 тис. т пилу. Шлаки містять значну кількість заліза (майже 50 %). При виробництві сталі мартенівським методом шлаків утворюється приблизно вдвічі менше, ніж у доменному виробництві – близько 25 млн т на рік, з яких 66,5 % становлять мартеновські шлаки, 30 % – конверторні та 3,1 % – електросталеплавильні. Основна частина шлаків направляється на звалища. Доменні, феросплавні та мартеновські шлаки містять сполуки фосфору,

оксид кальцію та інші речовини, які можуть використовуватися як добрива в сільському господарстві.

Найбільшу небезпеку для ґрунтів становлять антропогенні забруднювачі, особливо важкі метали, серед яких свинець, ртуть, уран, торій, кадмій, берилій, хром, нікель, кобальт та інші. Ці речовини концентруються в трофічних ланцюгах і, хоча самі по собі важкі метали не є ксенобіотиками, у підвищених концентраціях вони завдають серйозної шкоди всім живим організмам.

Атмосфера має природну здатність до самоочищення, що відбувається завдяки сухому та мокрому випадінню домішок, абсорбції їх земною поверхнею, поглинанню рослинами та переробці бактеріями й іншими мікроорганізмами. Садіння дерев і кущів сприяє очищенню повітря від пилу, оксидів вуглецю, діоксидів сірки та інших шкідливих речовин. Найкращі поглинальні властивості щодо діоксиду сірки мають тополя, липа та ясен. Одне доросле дерево липи може акумулювати протягом доби десятки кілограмів діоксиду сірки, перетворюючи його на нешкідливі речовини. Значну роль у очищенні повітря відіграють ґрунтові бактерії та мікроорганізми. При температурі 15–35 °С вони здатні переробляти до 81 г оксидів та діоксидів вуглецю на 1 м² на добу. Проте природні можливості самоочищення атмосфери мають обмеження, що необхідно враховувати при розробці нормативів граничнодопустимих викидів.

5.4. Методи очищення викидів хімічних виробництв

За несприятливих метеорологічних умов, коли викиди можуть бути шкідливими для здоров'я населення, підприємства зобов'язані знизити викиди шкідливих речовин шляхом використання технічних засобів або тимчасової (часткової) зупинки джерел забруднення.

Сучасні вимоги до якості та ступеня очищення викидів досить високі. Для їх дотримання необхідно застосовувати технології та обладнання, що

зменшують або повністю виключають надходження шкідливих речовин в атмосферу, забезпечують нейтралізацію утворених шкідливих компонентів, експлуатувати виробниче та енергетичне обладнання з мінімальними викидами, закривати невеликі котельні та підключати споживачів до ТЕЦ, використовувати антитоксичні присадки, а також переводити теплоенергетичні установки з твердого палива на газ.

Способи очищення викидів від шкідливих речовин можна об'єднати у кілька груп. Перш за все, це очищення від пилу та аерозолів, очищення від газоподібних шкідливих компонентів, зниження забруднення атмосфери вихлопними газами двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів і стаціонарних установок, а також зменшення забруднення під час транспортування, навантаження та вивантаження сипких вантажів.

Для очищення викидів застосовують різні методи: механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні та комбіновані.

Механічні методи базуються на використанні сил ваги, інерції, відцентрових сил, принципів сепарації, дифузії та захоплювання часток. Фізичні методи передбачають застосування електричних і електростатичних полів, охолодження, конденсації, кристалізації та поглинання.

Хімічні методи засновані на реакціях окиснення, нейтралізації, відновлення, каталізації та термоокиснення.

Фізико-хімічні методи використовують принципи сорбції (адсорбції, абсорбції, хемосорбції), коагуляції та флотації.

Гравітаційні пилоочисні камери працюють за принципом зниження швидкості руху газів до рівня, при якому пил та рідкі частинки осідають під дією сили тяжіння. Такі камери представляють собою порожнинну або обладнану полицями коробку з листової сталі з бункером для збору пилу. Оскільки зменшення висоти камери підвищує ефективність очищення, порожнину часто розділяють полицями, розташованими під кутом або з

можливістю регулювання. Гравітаційні пилоосаджувальні камери ефективні для осадження частинок пилу діаметром понад 50 мкм. Гідравлічний опір таких камер становить 50–150 Па, швидкість газу – 0,2–1,5 м/с, а ступінь очищення не перевищує 50 %. Тому їх зазвичай використовують як попередній етап пиловловлювання.

Інерційні сепаратори працюють на принципі різкої зміни напрямку потоку газу. У місцях зміни напрямку тверді частинки осідають під дією інерційних сил. Ці сепаратори дозволяють осаджувати частинки діаметром 25–30 мкм при продуктивності до 582 м³/год.

Циклонні сепаратори використовують відцентровий ефект для видалення пилу з газового потоку. Основні типи циклонних сепараторів включають:

- горизонтальні пиловловлювачі, які надають газам вихроподібного кругового руху за допомогою вертушки з системою нерухомих лопатей;
- вертикальні сепаратори, у яких газ подається зверху крізь горизонтально встановлену кільцеву крильчатку, що надає потоку обертального руху; тверді частинки осідають на дні, а очищений газ відводиться через центральну трубу;
- вертикальні сепаратори з тангенціальною вхідною частиною, де газ надходить збоку або знизу і набуває тангенціального руху, який відводить тверді частинки до стінок, після чого вони збираються в пилозбирачі;
- ротаційні струменеві пиловловлювачі, різновид циклонних сепараторів, у яких вихроподібний рух газу посилений тангенціальним потоком повітря. Пил накопичується в центрі потоку та під дією гравітаційних сил осідає на дно пилозбирача.

Апарати мокрого очищення газів від пилу працюють за принципом промивання газового потоку рідиною. Такі очисні пристрої застосовуються на дільницях фарбування виробів, нанесення полімерних покриттів, а також у замкнених системах повітрокористування. Вони дозволяють ефективно

очищати гази від дрібних механічних забруднень. За принципом дії апарати мокрого очищення поділяються на порожнинні та насадкові, барботажні й пінні, ударно-інерційні, відцентрові, а також динамічні та турбулентні пробивачі.

Електростатичні установки працюють за принципом пропускання очищуваних газів крізь електростатичне поле високої напруги, яке може досягати 50 кВ і створюється спеціальними електродами. Під час проходження через електричне поле частинки пилу набувають електричного заряду та притягуються до заземлених електродів. Для очищення електродів передбачені спеціальні механічні системи. Цей метод дозволяє вловлювати частинки розміром до 0,1 мкм. Початкові витрати на встановлення електростатичних фільтрів є вищими порівняно з іншими апаратами, однак експлуатаційні витрати нижчі. Споживання електроенергії становить 0,3–0,6 кВт на 10 000 м³ газу.

У пористих фільтрах забруднені гази пропускають крізь тканину, сукно, синтетичні матеріали (нітрон, лавсан, хлорин), металеві сітки, гравій та інші пористі середовища. Основними недоліками таких фільтрів є значне зниження тиску газу після фільтрації, висока вартість експлуатації та необхідність частої заміни фільтрувальних елементів.

Найбільш поширеними апаратами для очищення газів від механічних частинок є рукавні фільтри. Їх основним елементом є рукавподібний мішок, натягнений на трубчасту раму. Під час проходження газу крізь мішок пилові частинки затримуються на поверхні тканини. Видалення пилу здійснюється шляхом механічного витрушування, зворотного продування, очищення струменями повітря або застосування низькочастотних акустичних генераторів.

Крім того, використовуються зернисті фільтри, зокрема з металокераміки, а також тканинні рулонні фільтри, які забезпечують високу

якість очищення газів. Їхніми недоліками є невисока пиломісткість та швидке забруднення.

У технологічних вентиляційних та енергетичних викидах промислових підприємств найчастіше містяться діоксид сірки, оксиди азоту, оксиди та діоксиди вуглецю, мінеральні речовини від виробництва будівельних матеріалів, сполуки металів, феноли, синтетичні та лакофарбові матеріали.

Методи очищення викидів від газоподібних речовин за характером фізико-хімічних процесів взаємодії з очищуваними середовищами поділяються на кілька основних напрямів. До них належать промивання викидів розчинниками, які не вступають у хімічну взаємодію із забруднювачами, що відповідає методу абсорбції; промивання розчинами, які утворюють хімічні сполуки із забруднювальними речовинами, тобто метод хемосорбції; поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами, що відповідає методу адсорбції; каталітичні процеси з використанням спеціальних каталізаторів; термічна обробка викидів; осадження домішок в електричних і магнітних полях, а також метод виморожування.

Метод абсорбції ґрунтується на розділенні газоповітряної суміші на окремі компоненти шляхом поглинання шкідливих речовин рідким абсорбентом. Як абсорбенти використовують рідини, здатні ефективно розчиняти забруднювальні домішки. Для видалення з викидів аміаку, хлористого та фтористого водню найчастіше застосовується вода, оскільки один літр води здатний розчиняти значні кількості цих сполук. Водночас сірчисті гази погано розчиняються у воді, що зумовлює значну витрату абсорбенту. Для очищення викидів від ароматичних вуглеводнів та деяких інших речовин застосовується сірчана кислота. Процес очищення газових викидів методом абсорбції здійснюється в спеціальних апаратах — абсорберах плівкового, форсункового або трубчастого типу.

Метод хемосорбції базується на поглинанні газів і парів твердими або рідкими поглиначами з утворенням хімічних сполук. Цей метод широко застосовується під час очищення вентиляційних викидів гальванічних ділень. Зокрема, для видалення хлористого водню використовують розчин їдкої натрі. Метод хемосорбції також ефективний для очищення викидів від оксидів азоту.

Метод адсорбції полягає в селективному вилученні шкідливих речовин із газових сумішей за допомогою твердих адсорбентів. Найбільш поширеними адсорбентами є активоване вугілля, іонообмінні смоли та інші пористі матеріали. Геометричні параметри адсорбентів визначаються та розраховуються за аналітичними залежностями або з використанням номограм.

Каталітичний метод очищення ґрунтується на перетворенні токсичних компонентів викидів у менш токсичні або практично нешкідливі речовини за участю каталізаторів. У цьому процесі використовують платину, метали платинової групи, а також оксиди міді, марганцю, ванадію та інших елементів. Найбільш поширеним є застосування каталітичного методу для очищення викидів від оксиду вуглецю шляхом його окиснення до діоксиду вуглецю.

Термічний метод базується на допалюванні та термічній нейтралізації шкідливих домішок у викидах. Його застосовують у випадках, коли забруднювальні речовини здатні до спалювання. Найбільш ефективним цей метод є для очищення викидів від лакофарбових і просочувальних ділень. Системи термічного та вогневого знешкодження забезпечують ступінь очищення, що може досягати 99 %.

Загалом послідовність вибору очисних пристроїв та фільтрів є такою:

- виявлення характеристик викидів (температура, вологість, вид і концентрація домішок, токсичність, дисперсність тощо);

- визначення типу очисного пристрою або фільтра за витратою газу, необхідним ступенем очищення, можливостями виробництва та іншими факторами;

- визначення робочої швидкості газів;
- техніко-економічний аналіз можливих варіантів очищення;
- розрахунок параметрів очисного пристрою;
- проєктування та вибір очисного пристрою або фільтра.

Під час вибору засобів очищення викидів в атмосферу слід керуватися такими рекомендаціями:

- сухі механічні засоби та пристрої неефективні під час видалення дрібнодисперсного та липкого пилу;
- мокрі методи неефективні для очищення викидів, що містять речовини, які погано злипаються та утворюють грудки;
- електроосаджувачі неефективні у випадку видалення забруднень із малим питомим опором, які погано заряджаються електрикою;
- рукавні фільтри неефективні для очищення викидів із липкими та зволоженими забрудненнями;
- мокрі скрубери не можна застосовувати для роботи поза приміщеннями в зимових умовах.

5.4.1. Утилізація рідких відходів

Організаційні заходи зводяться до попередження скидання стічних вод у водойми без їх очищення. Технічні заходи передбачають очищення стічних вод різними методами, зокрема: повторне використання стічних вод для технічних потреб і поливу; створення оборотних та замкнених систем водокористування; удосконалення технологічних процесів на підприємствах у напрямку зменшення надходження забруднень у стоки; перехід на безвідходні технології; зменшення забруднення територій нафтопродуктами, які зі зливними стоками можуть потрапляти у водойми.

Очищення стічних вод на підприємствах може здійснюватися за однією з таких схем:

- очищення стічних вод на заводських очисних спорудах;
- очищення стічних вод після їх забруднення спочатку на заводських, а потім на міських очисних спорудах із подальшим скидом у водойми;
- безперервне очищення промислових вод і розчинів на локальних очисних спорудах протягом певного часу з подальшою передачею на регенерацію та поверненням в оборот; у разі неможливості регенерації води усереднюються, передаються на заводські очисні споруди та утилізуються.

Способи очищення забруднених промислових вод можна об'єднати в такі групи: механічні, фізичні, фізико-механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні та комплексні.

Механічні способи очищення застосовуються для очищення стічних вод від твердих та масляних забруднень і здійснюються такими методами:

- подрібнення великих за розміром забруднень на менші за допомогою механічних пристроїв;
- відстоювання забруднень зі стічних вод за допомогою нафтовловлювачів, пісковловлювачів та інших відстійників;
- розділення води та забруднювачів за допомогою центрифуг і гідроциклонів;
- усереднення стічних вод чистою водою з метою зниження концентрації шкідливих речовин і домішок до рівня, за якого стоки можна скидати у водойми або каналізацію;
- вилучення механічних домішок за допомогою елеваторів, решіток, скребків та інших пристроїв;
- фільтрування стічних вод крізь сітки, сита, спеціальні фільтри, а найчастіше – шляхом пропускання їх через пісок;

- освітлення води шляхом пропускання її крізь пісок або спеціальні пристрої, наповнені композитними чи мінеральними матеріалами, здатними поглинати завислі частинки.

Вибір схеми очищення води від завислих частинок і нафтопродуктів залежить від виду та кількості забруднень, а також необхідного ступеня очищення.

Фізико-механічні способи очищення стічних вод базуються на флотації, мембранних методах очищення та азеотропній відгонці. Флотація – це процес молекулярного прилипання частинок забруднень до поверхні розподілу двох фаз (вода – повітря, вода – тверда речовина). Процес очищення СПАР, нафтопродуктів і волокнистих матеріалів флотацією полягає в утворенні системи «частинки забруднень – бульбашки повітря», яка спливає на поверхню та утилізується.

За принципом дії флотаційні установки класифікуються таким чином: флотація з механічним диспергуванням повітря; флотація з подачею повітря крізь пористі матеріали; електрофлотація; біологічна флотація.

Зворотний осмос (гіперфільтрація) – це процес фільтрування стічних вод крізь напівпроникні мембрани під тиском. За концентрації солей 2–5 г/л необхідний тиск до 1 МПа, а за концентрації 10–30 г/л – близько 10 МПа.

Ультрафільтрація – мембранний процес розподілу розчинів, осмотичний тиск яких є малим. Застосовується для очищення стічних вод від високомолекулярних речовин, завислих частинок і колоїдів.

Електродіаліз – процес сепарації іонів солей у мембранному апараті, що здійснюється під впливом постійного електричного струму. Електродіаліз застосовується для демінералізації стічних вод. Основним обладнанням є електродіалізатори, які складаються з катіонітових та аніонітових мембран.

Хімічне очищення використовується як самостійний метод або як попередній етап перед фізико-хімічним і біологічним очищенням. Його

застосовують для зниження корозійної активності стічних вод, видалення з них важких металів, очищення стоків гальванічних дільниць, окиснення сірководню та органічних речовин, дезінфекції та знебарвлення води.

Нейтралізація застосовується для очищення стічних вод гальванічних, травильних та інших виробництв, де використовуються кислоти та луги. Нейтралізація здійснюється шляхом змішування кислих стічних вод із лужними, додаванням реагентів (вапна, карбонатів кальцію та магнію, аміаку тощо) або фільтруванням крізь нейтралізувальні матеріали – вапно, доломіт, магнезит, крейду, вапняк тощо.

Окиснення застосовується для знезараження стічних вод від токсичних домішок (мідь, цинк, сірководень, сульфід), а також від органічних речовин. Окиснювачами є хлор, озон, кисень, хлорне вапно, гіпохлорит кальцію тощо.

Фізико-хімічні методи. *Коагуляція* – це процес з'єднання дрібних частинок забруднювачів у більші за допомогою коагулянтів. Для позитивно заряджених частинок коагулювальними іонами є аніони, а для негативно заряджених – катіони. Коагулянтами є вапняне молоко, солі алюмінію, заліза, магнію, цинку, сірчаноокислий кальцій, вуглекислий газ тощо. Коагулювальна здатність солей тривалентних металів у десятки разів вища, ніж двовалентних, і в тисячу разів вища, ніж одновалентних.

Флокуляція – це процес агрегації дрібних частинок забруднювачів у воді за рахунок утворення містків між ними та молекулами флокулянтів. Флокулянтами є активна кремнієва кислота, ефіри, крохмаль, целюлоза, синтетичні органічні полімери (поліакриламід, поліоксиетилен, поліакрилати, поліетиленаміни тощо).

Для освітлення води одночасно використовують коагулянти та флокулянти, наприклад, сірчаноокислий алюміній і поліакриламід (ППА). Цей процес здійснюють у спеціальних ємностях та камерах. Також можливе

застосування електрокоагуляції – процесу збільшення частинок забруднювачів під дією постійного електричного струму.

Сорбція – це процес поглинання забруднень твердими та рідкими сорбентами (активоване вугілля, зола, дрібний кокс, торф, силікагель, активна глина тощо). Адсорбційні властивості сорбентів залежать від структури пор, їх величини, розподілу за розмірами та природи утворення. Активність сорбентів характеризується кількістю забруднень, що поглинаються на одиницю їх об'єму або маси ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Пристрої для вилучення забруднень зі стічних вод або розчинів за цим методом виготовляють у вигляді фільтрів. Під час адсорбції поглинання забруднювачів відбувається лише поверхнею адсорбенту за рахунок молекулярних сил взаємодії тіл. При хемосорбції поглинання забруднювачів сорбентом відбувається з утворенням на поверхні розподілу нового компонента або фази. Вибір сорбенту визначається характером і властивостями забруднень. Процес очищення стічних вод різними видами сорбентів здійснюється у спеціальних колонах, заповнених сорбентами.

Екстракція – це процес вилучення зі стічних вод цінних речовин за допомогою екстрагентів, які повинні мати такі властивості: високу екстрагувальну здатність, селективність, малу розчинність у воді, густину, що відрізняється від густини води, невелику питому теплоту випаровування, малу теплоємність, вибухобезпечність, нетоксичність і невисоку вартість. Екстрагування речовин зі стічних вод здійснюється перехреснопотоковим, ступінчасто-протипотоковим і безперервно-протипотоковим методами. Цей спосіб використовують, зокрема, для вилучення фенолу зі стічних вод.

Іонний обмін базується на вилученні зі стічних вод цінних домішок (хрому, цинку, міді, ПАР) за рахунок обміну іонами між домішками та іонами (іонообмінними смолами) на поверхні розподілу фаз «розчин – смола». За знаком заряду іоніти поділяються на катіоніти та аніоніти, котрі

мають відповідно кислі та лужні властивості. Іоніти можуть бути природними та синтетичними. На практиці застосовують природні іоніти типу алюмосилікатів, гідроксидів та солей багатовалентних металів, на основі вугілля та целюлози, а також різноманітні синтетичні іонообмінні смоли.

Після механічних, хімічних та фізико-хімічних методів очищення у стічних водах можуть залишатися різноманітні віруси та бактерії (дизентерійні бактерії, холерний вібріон, збудники тифу, вірус поліомієліту, гепатиту, аденовіруси, віруси, що викликають захворювання очей). Тому, з метою запобігання захворюванням, стічні води перед використанням для побутових потреб підлягають біологічному очищенню.

Стерилізація води здійснюється шляхом: нагрівання; хлорування; озонування; обробки ультрафіолетовими променями; біологічної обробки; електролізу срібла, який має бактерицидну дію (анод – срібний, катод – вугілля).

5.4.2. Утилізація твердих відходів

У хімічній промисловості та суміжних галузях утворюється велика кількість твердих відходів, які скорочують земельний фонд і забруднюють ґрунт. Важливою умовою охорони ґрунту є суворе дотримання науково обґрунтованих методів внесення добрив і обробки рослин пестицидами та ядохімікатами.

Одним із найбільш багатотоннажних відходів хімічної промисловості є піритний недогарок, який утворюється у виробництві сірчаної кислоти. На заводах накопичено близько 40 млн т піритних недогарків, і щорічно додається ще близько 7 млн т. Недогарок складається з оксидів заліза, сульфатів і оксидів інших металів, кварцу, алюмосилікатів і FeS_2 . У ньому міститься близько 58 % заліза, до 2 % міді, а також невеликі кількості срібла, золота та інших цінних компонентів.

Піритні недогарки використовують у цементній та скляній промисловості. Найбільш перспективною є комплексна переробка недогарків з високим вмістом Cu, Zn, Pb, Ag та S шляхом випалу, що дозволяє витягти і використати цінні компоненти. Після витягу цінних металів хлорним випалюванням недогарок стає сировиною для отримання заліза. Як хлоруючий агент можливо застосовувати відходи виробництва соди – розчин хлориду кальцію. Недогарок змішують і гранулюють із цим розчином, а отримані гранули випалюють при температурі 1200–1250 °С. При цьому відбувається сублімація кольорових металів і утворення міцних гранул – сировини для доменного виробництва чавуну.

Значна кількість твердих відходів утворюється також у виробництві калійних добрив із сильвініту ($KCl + NaCl$). На 1 т хлориду калію утворюється до 2,6 т галітових відходів – хлориду натрію з домішками KCl та інших солей. Складування галітових відходів займає великі площі сільськогосподарських угідь, що призводить до засолення ґрунту та підвищення вмісту мінеральних солей у підземних водах. Галітові відходи можна переробляти на поварену сіль.

У виробництві фосфорних добрив при збагаченні фосфорної сировини флотацією утворюється велика кількість хвостів збагачення – до 2 т на 1 т фосфору. Комплексна переробка цих відходів важлива з екологічної точки зору та з метою отримання кольорових і рідкісних металів (Al, Ti, Ga), а також цінних неметалічних продуктів – соди, поташу тощо.

Ще одним із найбільш багатотоннажних відходів хімічної промисловості є фосфогіпс, який утворюється на підприємствах, що виробляють фосфорну кислоту та фосфорні добрива.

Великі кількості твердих відходів утворюють підприємства азотної промисловості, виробництва високополімерних матеріалів та багато інших хімічних виробництв. Відходи хімічної промисловості все більше і більше утилізують як вторинну сировину.

Однак низка хімічних заводів, побудованих без урахування екологічних вимог, ще тривалий час будуть нарощувати потужності та скидати зростаючу кількість твердих відходів. Тому необхідно в короткі строки цілком утилізувати відходи, доводячи їх до товарної продукції, або застосовувати як вторинну сировину. Неутилізовані тверді відходи необхідно знешкоджувати, а лісові ділянки, зайняті промисловими відходами, піддавати рекультивації, тобто відновленню природних ландшафтів.

Для збереження літосфери необхідно постійно проводити рекультивацію земель навколо промислових підприємств, а також при розкритті земної поверхні з метою видобутку корисних копалин, при прокладці газо- та нафтопроводів тощо.

Існують такі методи знешкодження та поховання твердих промислових відходів: біологічне окиснення в умовах, що моделюють природні; термічна обробка; складування відходів на поверхні землі; поховання особливо шкідливих відходів на ділянках, що не мають господарського значення (яри, кар'єри, шурфи, траншеї тощо).

Біологічне окиснення застосовують для знешкодження твердих відходів, у тому числі осадів, що утворюються в системах біологічного очищення.

Термічна обробка – це є найбільш надійний спосіб знешкодження й утилізації твердих відходів. Спалювання здійснюють у високотемпературних хімічних реакторах, які забезпечують ретельне перемішування для розвитку поверхні контакту фаз та прискорення зовнішньої й внутрішньої дифузії кисню з метою максимального окиснення органічної частини відходів, а також температуру, достатню для повного знешкодження токсичної частини відходів. Найчастіше застосовують барабанні та камерні печі, циклонні печі й печі зі зваженим (киплячим) шаром твердого матеріалу. У барабанних печах процес спалювання відходів

відбувається в кілька температурних зон. У зоні сушки матеріал підсушують за допомогою димових газів з температурою 800–1000 °С. У зоні підготовки до спалювання відбувається частковий відгін летких органічних продуктів; температура смоли, що утворюється, досягає близько 300 °С, достатньої для запалення окремих складових відходів. Горіння твердої маси починається при 600 °С, а температуру в зоні горіння підтримують у межах 1100–1500 °С для повного знешкодження органічної частини. Найбільш ефективне спалювання відбувається в циклонних печах і печах зі зваженим шаром завдяки інтенсивному перемішуванню твердого матеріалу з повітрям.

Досить перспективною є термічна обробка твердих відходів *методом піролізу*, при якому продукти піролізу можуть використовуватися як енергетичне паливо, а також як сировина для органічного синтезу. Піроліз проводять у вертикальних циліндричних печах, нагрівання забезпечують за допомогою електричної дуги, струмів високої частоти або застосуванням твердих теплоносіїв – розплавів солей, продуктів піролізу твердого палива (напівкокс) та інших. Процес ведуть при температурах 300–900 °С, залежно від складу відходів та вмісту кисню в зоні піролізу. Для попередження утворення сажі та токсичних продуктів у зону вводять пару. Твердий залишок піролізу може бути використаний як наповнювач для пластичних мас і гуми або як сорбент.

Тверді відходи також можна переробляти під високим тиском, у результаті чого утворюються спресовані спечені матеріали, придатні для застосування в будівельній промисловості. Таким методом обробляють відходи деревини, зольні відвали та відходи збагачення мінеральної сировини.

Поховання твердих промислових відходів у поверхневих сховищах є найбільш розповсюдженим способом їх знешкодження. Проте такий метод призводить до відчуження великих ділянок землі, які могли б використовуватися ефективніше, а також до забруднення поверхневих і

підземних вод. Основним типом поверхневих сховищ є шламонакопичувачі, що будують за каскадним принципом і які включають чашу, греблю та дренажну систему, що захищає ґрунти під спорудженням від фільтраційних деформацій і відводить зі сховища забруднені стоки для подальшого знешкодження. Поховання токсичних промислових відходів на ділянках, що не мають господарського значення, проводять після їх стабілізації обробкою цементуючими речовинами – рідким склом, цементними розчинами або бітумом. Отримані блоки закладають у кар'єри, шурфи та інші природні або штучні поглиблення в поверхневих шарах землі. Такий підхід застосовують для відходів, що містять сполуки ртуті, миш'яку, ціанідів, а також для слабо радіоактивних відходів. Водночас усі способи консервації та поховання твердих відходів є небезпечними, ведуть до відчуження родючих земель і пов'язані зі значними витратами. Тому вони надалі недоцільні і повинні замінюватися повною утилізацією твердих відходів, у першу чергу як вторинну сировину. Однією з важливих екологічних проблем сьогодення є утилізація та використання твердих відходів великих промислових міст

5.4.3. Рекуперація відходів

Вибір шляхів удосконалення процесів охорони навколишнього середовища в кожній виробничій системі залежить від економічної обґрунтованості технічних рішень та від природних особливостей конкретного регіону. Наприклад, у південних регіонах країни, де розташоване багато хімічних підприємств, існує гострий дефіцит водних ресурсів, тому першочерговим завданням є впровадження водооборотних циклів. Ряд старих хімічних підприємств, розташованих у містах, потребує скорочення викидів летких компонентів, зокрема парів розчинників. Впровадження адсорбційної рекуперації розчинників не лише запобігає викидам токсичних компонентів в атмосферу, а й повертає значну їх кількість у основне виробництво. Таким чином шляхи і методи поступового

створення маловідхідних, а згодом безвідхідних виробництв на діючих підприємствах насамперед ґрунтуються на специфіці цих виробництв. Для нових підприємств організація безвідхідних технологічних процесів повинна передбачатися на пошуковій та передпроектній стадії, конкретизуватися при проектуванні та реалізовуватися в ході будівельно-монтажних робіт.

Агресивні пило-газові, рідкі та тверді відходи промислових підприємств за допомогою спеціальних засобів забору, перемішування і переміщення нейтралізуються в підземному реакторі, сполученому з системою промислової каналізації. Пило-газові викиди направляються в реактор за рахунок розрядження, створеного вентиляційною установкою. У скруберах і самому реакторі гарячі викиди проходять крізь форсунки за допомогою системи розпилення слабколужним розчином, який розчиняє хімічно активні газові компоненти, насичує гази водяною паром і осаджує пил. Багатокомпонентна газова суміш, що виходить з реактора, містить порівняно з повітрям знижену кількість кисню та підвищену кількість вуглекислого газу, охолоджується розчином і по наземному газопроводу надходить на біологічну обробку, по шляху обігрівачи тепличне господарство, а біологічна обробка газів може бути сполучена з виробництвом біомаси.

Агресивні промислові стоки надходять у реактор і змішуються зі стікаючим потоком оборотного розчину, компенсуючи його втрати через упарювання і осад. Основна маса твердих відходів транспортується до наземних пристроїв реактора – нейтралізаторів, де лужні шлаки промиваються оборотним розчином. Після промивання розчин відстоюється і повторно подається на зрошення. Значна частина твердих відходів, зокрема пил і шлам, надходить на знешкодження в реактор, минаючи нейтралізатор. Промислові стоки, забруднені нерозчинними речовинами, минаючи реактор, подаються в загальний відстійник, де

звільняються від суспензій і знову спрямовуються в систему водообороту. Горючі відходи спрямовуються на спалювання, недогарки – на комплексну переробку твердих продуктів, газ – у реактор, тепло – утилізується. Побутові стічні води піддаються попередньому знешкодженню, а потім природній обробці в ставках до стану, близького до природного, і використовуються для технічного водопостачання та зрошення.

У результаті всі промислові та побутові стічні води замикаються в загальну систему водокористування, і їхнє скидання в природні водойми ліквідується. Тверді речовини – осад з реактора, виробниче та побутове сміття, шлаки, недогарки, органічні залишки від біологічного очищення стічних вод – надходять у блок цехів для комплексної переробки на добрива, будівельні матеріали та різні види сировини. Такий комбінат безвідходного виробництва у значній мірі моделює з погляду використання природних ресурсів біогеохімічні системи, що розвиваються на Землі.

5.5. Ресурсо- та енергозбереження в хімічних технологіях

Наявність мінеральних ресурсів, зокрема в Україні, свідчить про необхідність приділення особливої уваги економічному аспекту їх використання, а саме стратегічному підходу у хімічних технологіях. Рішення цієї проблеми може здійснюватися різними шляхами, серед яких ключове значення мають державна політика у сфері видобутку сировинних ресурсів із комплексним і селективним підходом, подальший розвиток системи раціонального видобутку без пріоритетності певних корисних матеріалів, впровадження економічної зацікавленості підприємств у зменшенні втрат сировини та її бережливому використанні, а також ретельний аналіз гірничо-геологічних умов нових родовищ і пошук альтернативних джерел у вигляді відходів гірничодобувної та гірничозбагачувальної галузей. Додатково важливе використання менш кондиційної сировини за допомогою недорогих технологічних операцій,

широке застосування колоїдно-хімічних методів на різних стадіях виробництва для підвищення якості продукції та зменшення матеріало- і енергоємності, а також впровадження національних і міжнародних стандартів з метою інтеграції в світові ринки та підвищення конкурентоспроможності продукції. Поширення і поглиблення практики ресурсо- та енергозбереження на підприємствах при відчутному стимулюванні також відіграє значну роль.

У світі щорічно переробляється понад 600 мільйонів тонн відходів, третина яких експортується, а близько 40 % сировини, що використовується промисловістю, є вторинною. Оборót переробного сектору перевищує 160 мільярдів доларів, а приватні компанії інвестують у наукові дослідження понад 20 мільярдів доларів. У Європі переробка та повторне використання відходів активно розвиваються з 1990-х років, створюючи потужну переробну індустрію, стимульовану економічною вигодою, оскільки вторинна сировина підвищує ефективність вкладень порівняно з первинними ресурсами та знижує забруднення вод і атмосферного повітря. Найчастіше переробляють кольорові та чорні метали, тверді побутові відходи, старі автомобілі, металургійні та будівельні відходи. У складних економічних умовах повторна переробка стає джерелом недорогих будівельних матеріалів. Сучасні технології та обладнання дозволяють повторно використовувати пошкоджені або некондиційні залізобетонні та бетонні конструкції, арматурну сталь і бити цеглу. Попит на вторинний щебінь залишається високим, особливо на фракції 0–150 та 0–200 мм, а для дрібніших фракцій потрібна додаткова переробка та грохочення. Рециклінг постійно застосовують при знесенні чи реконструкції будівель, де замість плати за негативний вплив на середовище вигідніше звертатися до підприємств повторної переробки, отримуючи нову сировину для повторного використання. Це дозволяє одночасно економити кошти та зменшувати негативний вплив на довкілля. Таким чином, рециклінг поєднує

сучасні екологічні технології з реальною економією, що підтверджується практикою багатьох зарубіжних компаній, які давно використовують технології вторинної переробки бетону як ефективний і доказовий приклад нових тенденцій.

Світовий та вітчизняний досвід розвитку будь-якої держави свідчить про те, що значення досягнень у галузі хімічних технологій у всій структурі господарювання важко переоцінити. Практично немає галузі, де б наші матеріали не відігравали основну та вирішальну роль. Досить згадати такі гіганти індустрії, як металургія, енергетика, нафтогазовидобувна, хімічна промисловість, будівельна індустрія, освоєння космосу, медицина, машинобудування, матеріали нової техніки, харчова промисловість, сільське господарство та багато інших. Відомо, що для виготовлення таких матеріалів при їх великому асортименті потрібні колосальні обсяги сировинних та інших матеріальних ресурсів, насамперед енергетичних. Щорічно з надр землі вилучається мільярди тонн різноманітної мінеральної сировини, що становить майже 1/8 світового видобутку різних руд — до 100 млрд тонн мінеральної сировини, енергоресурсів (вугілля, нафта, газ тощо) та сировинних матеріалів для виробництва продукції (майже 90 %). На розвиток мінерально-сировинної бази витрачається до 40 % усіх капітальних вкладень в промисловість, до 20 % трудових ресурсів задіяно у хімічній галузі, а для ефективної її роботи використовується майже 35 % основних виробничих фондів.

При видобутку та збагаченні мінеральної сировини утворюються великі обсяги попутної сировини та відходів збагачення, кількість яких у десятки разів перевищує обсяги основної сировини. До них додаються гори техногенної сировини у вигляді зол і шлаків ТЕС, металургійних шлаків, відходів хімічної промисловості та інших виробництв, у яких вміст цінних металів, таких як мідь, цинк, свинець, ванадій та інші, досягає або перевищує їхній вміст у основному матеріалі. Це підкреслює необхідність

розробки сучасних технологій збагачення та вилучення цінної сировини з відходів і використання попутної продукції.

В Україні накопичено понад 35 млрд тонн твердих відходів різноманітних виробництв у «технологічних кладовищах», при цьому середнє навантаження твердими відходами на одиницю площі в десятки разів перевищує показники інших країн. Щороку в країні утворюється до 2 млрд тонн нових відходів, які займають великі площі корисних земель та завдають шкоди довкіллю під впливом атмосферних факторів. У світовому масштабі щорічно під відходи відводиться до 10 млн гектарів землі.

Аналіз світових досягнень у цьому напрямку показує, що більшість попутних матеріалів та відходів виробництв є достатньо якісними, щоб використовувати їх у різних технологіях у значних обсягах – до 60–70 % у розвинутих країнах (Європа – до 58 %, Північна Америка – до 63 %, Японія – до 87 %, Китай – до 37 %), тоді як в Україні цей показник становить лише 10–20 %. У США, Японії, Німеччині, Франції з промислових відходів видобувається до 20 % алюмінію, 33 % чавуну та сталі, 50 % свинцю та цинку, понад 45 % міді, що свідчить про ефективність розроблених методів збагачення та вилучення цінної сировини.

В Україні також існує позитивний досвід переробки відходів. Близько третини чорних та кольорових металів виробляється з вторинної сировини, хоча понад 5 млн тонн лому чорних і 0,6 млн тонн лому кольорових металів експортується. З промислових відходів у значних обсягах вилучають скандій, германій, ванадій, а завдяки комплексній сучасній переробці Україна може забезпечити себе необхідними обсягами рідкісних металів, таких як ітрію, ніобій, скандій, а також до 25 % потреби у свинці, цинку, цирконії, міді, золоті та сріблі.

Розвинені країни значну частину енергоресурсів забезпечують імпортом: Японія – 80–100 %, Китай – 30–45 %, держави ЄС – 40–54 %, Індія – 50–76 %, США щорічно імпортує 58 % нафти та 15 % вугілля. За даними

соціальних видань, світові запаси газу вистачають на 70 років, вугілля — на 200, на нафту — на 40, уранову руду — на 85 років, а використання альтернативних джерел енергії в деяких країнах залишається незначним. Це робить проблему енергозаощадження стратегічно важливою.

Позитивні результати демонструє використання енергії вітру (Німеччина — до 10 %, Данія — до 20 % електроенергії), сонячних батарей (США, південні країни Європи, Китай), енергії морських хвиль (Данія, Австралія) та геотермальних джерел (Ісландія), що дозволяє майже на 100 % задовольняти потребу у теплій воді. Програми з використання біопалива, водної енергетики та інших відновлюваних джерел також дають значні результати.

За останні 20 років енергетичні витрати на виробництво промислової продукції та надання послуг зменшилися у США на 28 %, Японії — на 35 %, Німеччині — на 21 %, тоді як в Україні вони зросли на 18 %. Втрати при видобутку, транспортуванні та переробці первинних енергоресурсів в Україні вдвічі вищі, ніж у зазначених країнах, а завдяки використанню альтернативної енергії зберігається лише 0,9 млн тонн органічного палива. На прикладі лампочки потужністю 100 Вт видно, що щоденне її використання протягом року без альтернативних джерел енергії потребує спалювання сотень кілограмів вугілля, що призводить до великого викиду CO₂ та SO₃. Загалом викиди в Україні перевищують 5 млн тонн на рік, що в 7–10 разів більше, ніж у країнах Європи, де максимальні викиди становлять 8–10 т/км² на рік.

Взаємозв'язок енергетичних та екологічних проблем у виробництві матеріалоємних продуктів зумовлює необхідність переходу від машинно-технічної революції до науково-технічної та зміни енергетичної і сировинної бази, особливо у гірничо-металургійному виробництві, яке споживає понад 20 % енергоресурсів країни. Екологічно чиста електроводнева металургія потребує нового покоління матеріалів.

Серед шляхів вирішення проблеми найбільш вагомими є державна політика у сфері видобутку сировини з комплексним селективним підходом, введення економічної зацікавленості підприємств у зменшенні витрат при видобутку та раціональному використанні сировини, визначення економічно обґрунтованих обсягів добутої сировини та впровадження сучасних методів її глибокої переробки і збагачення. Важливим є пошук альтернативних джерел сировини у вигляді відходів і техногенної продукції, а також широке використання колоїдно-хімічних методів у виробництві для підвищення якості продукції та економії ресурсів. Для інтеграції у міжнародний ринок необхідно підвищувати конкурентоспроможність продукції за якістю та ціною шляхом перегляду і гармонізації стандартів з міжнародними вимогами.

Питання для самоконтролю за розділом 5

1. Що таке рециклінг і яка його основна мета?
2. Назвіть основні переваги рециклінгу для довкілля та економіки.
3. Які матеріали найчастіше переробляють у процесі рециклінгу?
4. Назвіть основні мінуси та виклики рециклінгу.
5. Скільки підприємств-переробників відходів наразі працює в Україні?
6. Які типи відходів формуються у містах та промисловості?
7. Скільки часу розкладаються поліетиленові та пластикові вироби?
8. Що таке фрігани і яку роль вони відіграють у зменшенні відходів?
9. Які шкідливі гази та тверді частки утворюються під час коксохімічного виробництва?
10. Як виплавка сталі впливає на навколишнє середовище та водні ресурси?
11. Назвіть основні методи очищення газових викидів від пилу.

12. Які фізико-хімічні методи очищення застосовують для стічних вод?

13. Що таке абсорбція, хемосорбція та адсорбція у контексті очищення викидів?

14. Як забезпечується біологічне очищення стічних вод від вірусів і бактерій?

15. Які природні та технічні способи самоочищення атмосфери згадуються у тексті?

РОЗДІЛ 6

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕЦИКЛІНГ У ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ І СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ

6.1. Використання промислових відходів у технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів

Складні економічні та екологічні умови сьогодення в багатьох галузях промисловості вимагають новітніх технологій, які забезпечують виробництво продукції із використанням вторинної (техногенної) сировини. Накопичення запасів техногенних продуктів виробництва у різних галузях при одночасному зменшенні запасів якісної природної сировини та необхідності зниження собівартості продукції робить проблему утилізації відходів особливо актуальною. Одним зі шляхів її розв'язання є використання виробничих відходів і попутних продуктів у промисловості будівельних матеріалів, зокрема в технології фасадно-архітектурної кераміки.

Застосування відходів промисловості в керамічній технології дозволяє не лише вирішити питання утилізації шкідливих для довкілля відходів, які займають великі площі родючих земель, але й знизити вартість продукції. Це стає можливим завдяки високодисперсності деяких відходів, наявності оплавлених частинок, палива та інших компонентів, що дає змогу отримувати технологічні суміші, здійснювати швидкісну термообробку виробів та забезпечувати рівномірне протікання процесів спікання.

Зважаючи на досвід використання техногенних відходів у силікатній промисловості, їх доцільно систематизувати за впливом на стан і якість продукції, хімічним складом, а також за можливістю заміни певних вихідних компонентів у сировинній суміші. Отже, питання придатності та

застосування промислових відходів у технології фасадно-архітектурної кераміки є актуальним.

Досвід виготовлення лицувальної кераміки включає декілька видів традиційних сировинних матеріалів, що варіюються в певних межах для різних виробів. Технологічні етапи забезпечують формування структури, фазового та кількісного складу, що закладається введенням конкретного сировинного компоненту. Сировина та технологія виготовлення визначають властивості виробів: механічну міцність, водо- та морозостійкість, щільність та інші. Традиційною сировиною для фасадно-лицувальних виробів є пластична сировина (глина, каолін) з добавкою 20–50 % спікаючого матеріалу – шамоту, піску, а також плавнів у кількості 1–1,5 %.

За останні 30–50 років використання традиційних сировинних матеріалів у виробництві архітектурно-фасадної кераміки стало проблемним через низку факторів: необхідність зменшення собівартості продукції через використання альтернативних видів сировини та швидкісні режими термообробки; покращення екологічного стану шляхом утилізації відходів і зменшення шкідливих викидів з теплових агрегатів; накопичення запасів техногенних продуктів виробництва при зменшенні запасів якісної природної сировини.

Протягом кількох десятиліть науковцями-матеріалознавцями розробляються методи виготовлення продукції на основі некондиційної сировини – промислових відходів, кількість яких може становити від 10–30 % до 80–90 %. Дослідження проводяться провідними вітчизняними та закордонними фахівцями. Сьогодні як добавку до глин при виготовленні фасадно-лицувальної кераміки використовують дегідратовану глину, керамзитовий пісок, золошлакові суміші з гідровідвалів ТЕС, відходи вуглезбагачення, тверде безсіркове паливо та інші матеріали. Для зміцнення черепку у масу вводять залізні руди у кількості 5–10 %. Прискорення

режимів термообробки забезпечується за рахунок використання плавнів («еркдбоз» – підготовлене скло або склобій).

Багато наукових робіт присвячено вивченню впливу промислових відходів на формуючі властивості керамічних мас, їхні сушильні властивості, температуру випалу та естетико-споживчі характеристики. Досліджено, що добавки можуть забезпечувати властивості, важкодоступні при використанні традиційних сировинних матеріалів, та дозволяють отримувати вироби з широкою кольоровою гамою і високими споживчими характеристиками.

За кордоном використання відходів у виробництві фасадно-архітектурної кераміки не лише збереглося, а й активно поширюється, тоді як в Україні, крім використання альтернативної сировини, силікатна промисловість занепадає. Вітчизняні заводи, що виробляють рядову цеглу, плитку для внутрішнього лицювання та фасадну плитку, сьогодні є обмеженими.

Такий стан будівельної промисловості вимагає підтримки діючих підприємств та дослідження незайнятого сегменту виробництва. Доцільним є впровадження у технологію виробництва недорогої фасадної плитки, вартість якої можна знизити за рахунок використання відходів як основного сировинного компонента.

Для ефективного застосування альтернативних матеріалів необхідно визначити: стан відходу (дисперсність), фазовий та хімічний склад, роль у масі, вміст небажаних компонентів, що можуть негативно впливати на властивості продукції. У табл. 6.1 та 6.2 систематизовано промислові відходи різних галузей, які можуть бути використані у хімічній технології силікатних матеріалів.

Таблиця 6.1 – Відомості про побічні промислові продукти, які є перспективними для використання як сировини в силікатних технологіях

№ п/п	Найменування відходу	Агрегатний стан, ступінь дисперсності	Фазовий склад	Технологічне значення
1	2	3	4	5
Горно-рудна промисловість				
1	Відходи флотаційного збагачення мідних руд	Тонко подрібнення в процесі збагачення	За хімічним і мінералогічним станом схожі з глинистою сировиною	Замінник глини в керамічних масах
2	Надрудні глини марганцово-рудного басейну (м. Нікополь)	Природна глина		Глиниста сировина
3	Каоліновий відвальний продукт збагачення руд рідких металів	Суспензія з розміром твердих часточок менше 0,1 мм	Каолініт – 81–90 % Кварц – 15 % Польові шпати – 1 %	Глини з числом пластичності 20,6 в технології фасадних і метлахських плиток, кислотоупорів, пігментів
4	Глинистий відвальний продукт збагачення рідкометальних розсипів прибрежно-морського генезису	Суспензія (2–5 % твердої фази). У зневодненому стані розмір часток менше 0,05 мм	Каолініт – 95,4 % Високодисперсний кварц – 4,2 % Домішки: гідроксиди, органічні речовини, циркон, рутил	Глина для виробництва кислотоупорів, будівельної кераміки
5	Відвальні продукти збагачення корневих руд рідких металів – нефелін-егірин – польовошпатовий і егіриновий продукти, польовошпатовий і лепідолітів продукти	Суспензія, легко відстоюється. У зневодненому стані розмір часток приблизно 0,5 мм	Нефелін – 70 % Польовий шпат – 13 % Егірин – 16 %	Замінники плавнів в керамічних масах (частіше плиткових)

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
6	Відсів подрібнення каменю Лезніковського родовища (Житомирська обл.), Володарськ-Волинського родовища	Піскі із розміром часток менше 5 мм, щебінь із розміром часток менше 100 мм	Польові шпати	Плавні в технологіях личкувальної цегли, дорожнього клінкеру
7	Відходи Іршанської ГОК (Житомирська обл.)	Стан глини	Каолініт – 77 % Кварц – 14 % Fe(OH) ₃ – 5,6 %	Глиниста сировина (личкувальна цегла, дорожній клінкер)
8	Відсиви вивержений порід (гранатів) Кременчуцького родовища (Полтавська обл.)	Піски із розміром часток менше 0,5 мм	Польові шпати як основний компонент	Плавні, активні спіснювачі
9	Відходи виробництва подрібнюючи тіл з природного каменю (м. Слав'янск)	Порошок з частинками менше 0,5 мм	Кварц – 92 % Польові шпати – 8 %	Добавка для спікання
10	Відходи добування боратової руди	М'яка глиноподібна маса сірувато-жовтого кольору із включенням твердих кристалічних часток білого кольору	Ашарит – 24,4 % Гідроборацит – 42,1 % Вуглексит – 8,3 % CaCO ₃ – 6,4 % CaSO ₄ ·2H ₂ O – 13,3 %	Ефективний плавець (35 % B ₂ O ₃), освітлювач

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
<i>Металургійна промисловість (представляють розплави силікатів а алюмосилікатів кальцію та магнію)</i>				
1	Шлак ваграночний	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Спіснювач, добавка для спікання
2	Шлак мартенівський	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Спіснювач, добавка для спікання, зафарбовує черепок в сірі тона
3	Шлак електропічний	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Спіснювач, добавка для спікання, зафарбовує черепок в сірі тона
4	Шлак доменний	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Спіснювач, добавка для спікання, зафарбовує черепок в сірі тона
5.	Шлак Усть-Кам'яногірського СЦК	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Активний плавень, основні компоненти: Fe_2O_3 – 30,8 %, K_2O – 17,1 %, P_2O_5 – 2,4 %, MnO – 1,35 %
6	Шлак мідіплавильних виробництв	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Добавка для спіканн
7	Шлак алюмінієвого виробництва	Пісок різної крупності	Скловидний матеріал	Добавка для спікання

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
8	Шлак фосфорний (шлак електрофосфорний)	Рихла маса сірого кольору (розмір часток 1,5–2 мм)	Скловидна речовина – 70 %, псевдоволластоніт – 15 %, мелініт – 10 %	Сильний флюс, відбілює черепок
9	Шлами, що утворюються при травленні металів перед їх емалюванням	Суспензія із вмістом твердої фази 2–3 %	Солі, частіше сульфати заліза	
10	Кварцові відвальні продукти підприємств кольорової металургії (процес гравітаційного збагачення на конусних і гвинтових сепараторах)	Пісок з розміром часток приблизно 1,25 мм	Безкольоровий прозорий кварц – 97 %, домішки ільменіту – 2 %, польового шпату, апатиту (0,1–0,5 %), піроксену, слюди, циркону	Спіснювач в керамічних масах
Теплоенергетика (паливні золи і шлаки)				
1	Золи, що утворюються від спалювання вугілля на ТЕС (вловлюються електрофільтрами) – «зола-унос»	Рихла маса, яка складається з неоплавлених з поверхні зерен, та отримується при відносно низьких температурах (розмір 5–100 мкм)	Частково скловидна речовина, частково паливо, яке не згоріло	Замінник глин, плавнів, спіснювач, паливовмісний компонент (містить 10 % іноді 20–30 %), домішки, що вигоряють (підвищує поруватість виробів). За хімічним складом схожі з глинами

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
2	Шлак котельний	Пориста спечена міцна маса, яка складається з кусків неправильної форми (1–25 см). Утворюється на колосниковій решітці при 1000 °С	В основному скловидна речовина	Плавень, компонент шихти, що знижує формовочну вологість сирцю при пластичному формуванні. Технологічне паливо, яке необхідно подрібнювати
3	Шлак, що утворюється після охолодження розплавленої мінеральної частини палива	Щільна високої міцності скловидна чи закристалізована маса з температурою плавлення вище 1300 °С	Скловидна напівзакристалізована або закристалізована речовина	Спіснювач, регулятор сушки і формувальної вологості маси. Плавень у виробках високотемпературного випалу
4	Фосфогіпс – продукт знесірювання паливних газів		Дуводний гіпс з домішками нерозкладеного апатитового концентрату	
Відходи добування вугілля та його збагачення				
1	Відходи добування вугілля високої крупності (вміст вугілля до 15 %)	Крупність до 400 мм	Відходи вугледобування та збагачення вугілля по ступеню метаморфізму поділяються на глинисті сланці, аргіліти низького і високого ступеню метаморфізму.	Добавка в шихту, рідше як основну сировину
2	Відходи гравітаційного збагачення вугілля (вміст вугілля 4–7 %)	Крупність 13–100 мм. Невисока вологість		Основна сировина

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
3	Відходи гравітаційного збагачення вугілля (вміст вугілля 15 %)	Крупність 1–13 мм	Аргіліти – каменеподібна глиниста порода, що не розмокає у воді, є основною породою ґрунту і покрівлі вугільних пластів, а, отже, і основною породою цих відходів. Глиниста частина	Паливно-мінеральна добавка в шихту
4	Відходи флотаційного збагачення вугілля (вміст вугілля 15–20 %)	Крупність до 1 мм		Паливно-мінеральна добавка в шихту
Хімічна промисловість				
1	Бокситовий шлам – відхід виробництва глинозему з бокситів за методом спікання	Рихла маса червоного кольору, крупність зерен 2–3 мм	Гідросилікати, гідроферити, гідроксид заліза, розчинні луги, карбонати – 8–10 %	Плавень в керамічних масах
2	Піритні огарки – відхід виробництва сірчаної кислоти (процес переробки арсенопіриту)		Суміш оксидів заліза та кремнію, солей Zn, Co, Pb, Cu, пірит	Плавень в керамічних масах
3	Відходи алюмінієвого виробництва	Порошок з розміром менше 0,14 мм		Плавень, пластифікатор, де темного кольору цегляний черепок
4	Кремнеземні відходи виробництва AlCl ₃ , Al ₂ (SO) ₃ з каоліну і глини	Порошок	При сірчаноокислій обробці глини у відходах міститься 80–90 % активного SiO ₂	Спіснювач у виробництві цегли та сировина силікатної цегли

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
5	Червоний шлам – відхід глиноземного виробництва	Суспензія		Залізовмісна добавка в масі
<i>Інші виробництва</i>				
1	Гальванічний шлам – відхід хромування, міднення, цинкування на машинобудівних заводах	Суспензія		Фарбування матеріалів в коричнево-чорні відтінки за рахунок вмісту у відходах оксиду нікелю
2	Шлам хромування деталей машин	Суспензія	Al_2O_3 – 37,5 %, Fe_2O_3 – 57 %, ZnO – 3,3 %, Cr_2O_3 – 2,2 %	Після зневоднення чи у вигляді суспензії є фарбуючою домішкою в масі
3	Відпрацьовані каталізатори синтезу метанолу (1), азоту (2), сірчаної кислоти хімкомбінатів	Шматки, порошки	№ 1 – Al_2O_3 – 82 %; MoO – 13,5 %; CoO – 4,5 %. № 2 – Al_2O_3 – 10 %; ZnO – 27 %; CuO – 63 %. № 3 – Al_2O_3 – 20 %; Fe_2O_3 – 80 % Ще варіант ZnO – 55 %; Cr_2O_3 – 45 %	Фарбування керамічних мас. №1 – як сировина спеціальних цементів
4	Відходи водоочищення хімічних комбінатів	Шлам	CaCO_3 – 85 %; MgCO_3 – 5 %	Карбонатна добавка в шихту, а також як сировина в спеціальні цементи

Закінчення табл. 6.1

1	2	3	4	5
5	Відхід виробництва амінокапронової кислоти (м. Харків, завод хімреактивів)	Порошок	$\text{BaCO}_3 - 95,5 \%$; $\text{SiO}_2 - 4,5 \%$	Добавка в шихти для зв'язування водорозчинних солей та виключення висолів, як сировина в спеціальних барієвих цементах
6	Сульфатно-спиртова барда (ССБ) – відхід гідро сульфітного виробництва целюлози і паперу			Пластифікатор, стабілізатор і розріджувач керамічних лікерів та регулятор властивостей в'язучих матеріалів
7	Сульфатно- дріждева барда – відхід дріждевої промисловості			Пластифікатор, стабілізатор і розріджувач керамічних лікерів та регулятор властивостей в'язучих матеріалів
8	Милонафт – відхід при очистці дистилятів нафти їдким натром			Гідрофобізуюча добавка в керамічні маси та як регулятор властивостей в'язучих матеріалів
9	Змашувально-охолоджуючі рідини (ЗОР) – відходи нафтохімічної і метало переробної промисловості	Емульсії	Містять 3–5 % емульсії «вода-масло», водні розчини органічних речовин з добавками емульгаторів, інгібіторів корозії, легуючих і бактерицидних речовин	Диспергатори при подрібненні матеріалів, регулятори пружно-пластичних властивостей мас, розріджувачі суспензій
10	Скловідходи (склобій)	Твердий стан	Скло	Плавні, а також добавка в силікатну цеглу

Таблиця 6.2 – Хімічні склади відходів виробництва

Найменування відходу	Вміст компонентів, %											Примітка
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	В.п.п.	Інші	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Горно-рудна промисловість												
Відхід флотаційного збагачення мідних руд	61,9	22,1	1,8	1,61	1,01	5,05	Сліди	–	–	–	Cu – 0,06	Замінник глини в масах
Каоліновий відвальний продукт збагачення руд рідких металів	43,0–47,0	32,0–38,0	3,0–6,0 (Fe ₂ O ₃ + TiO ₂)	–	–	–	–	–	–	–	–	Глина для щільно спеченої кераміки
Глинистий відвальний продукт збагачення рідко-металевих розсипів при-брежно-морського генезису	57,0–63,0	20,0–22,0	3,0–4,0 (Fe ₂ O ₃ + FeO)	2,0–2,5	0,5–1,7	–	–	–	–		–	Глина для кислотоупорів, будівельної кераміки
Нефелін-егірин-польовошпатовий і егіриновий відвальний продукт збагачення руд рідких металів	48,0–51,0	19,0–22,0	3,0–6,0 (Fe ₂ O ₃ + FeO)	1,6–4,0	16,0–19,0	0,4–0,6	0,3	–	–	–	–	Плавні в масах плиток
Відсів подрібнення каменю Лезніковського родовища (Житомирська обл.)	74,57	12,68	2,52	0,99	0,3	4,43	2,5	0,29	–	1,34	SO ₃ – 0,12	Плавні в масах грубої щільної будівельної кераміки

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відсів подрібнення каменю Володарськ-Волинського родовища (Житомирська обл.)	73,96	12,07	3,52	1,63	0,25	4,0	3,0	0,47	–	1,03	SO ₃ – 0,09	Плавні в масах грубої будівельної кераміки
Відхід Іршанського ГОКа (Житомирська обл.)	50,08	30,31	2,73	0,71	0,2	0,34	0,14	1,36	–	12,28	SO ₃ – 0,05	Замінники глин в масах грубої щільної будівельної кераміки
Металургійна промисловість												
Шлак ваграночний	41,3	11,83	2,3 Fe ₂ O ₃ + 5,34 FeO	30,0 3	1,09	0,38	0,24	–	–	збільшення маси	–	Спіснювач, спікаюча добавка
Шлак мартеновський	22,49	3,57	10,22 Fe ₂ O ₃ + 10,13 FeO	35,4 8	12,1 5	0,07	0,13	–	–	збільшення маси	SO ₃ – 0,62	Спіснювач, спікаюча добавка
Шлак електропічний (відновлювальний)	26,88	7,53	0,98 Fe ₂ O ₃ + 1,3 FeO	47,1 4	11,6 5	0,24	0,08	–	–	0,4	SO ₃ – 0,57	Спіснювач, спікаюча добавка

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Шлак електропiчний (окислювальний)	9,22	2,6	12,41 Fe_2O_3 + 38,05 FeO	22,42	11	0,4	0,66	–	–	збiль- шення маси	SO_3 – 0,47	Спiснювач, спiкаюча добавка
Шлак доменний	40,62	11,24	1,12 Fe_2O_3 + 0,43 FeO	42,11	–	0,97	1,5	–	–	–	–	Спiснювач, спiкаюча добавка
Шлак мiдiплавильних виробництв	46,36	12	5,03 Fe_2O_3 + 28,6 FeO	8,06	1,1	1,33	1,6	-	-			Спiкаюча добавка
Шлак алюмiнiєвого виробництва	17,9	6,27	21,69	38,87	0,39	–	2,29	–	–	–	SO_3 – 0,55	Спiкаюча добавка
Шлак фосфорний (шлак «електротермофосфорний») металургiйного виробництва	39,85	2,11	1,2	43,18	4,51	0,62	0,43	–	6,45	–	–	Сильний флюс, вiдбiлює черепок
Кварцовi вiдвальнi продукти пiдприємств кольорової металургiї	91,0– 92,0	1,5– 2,0	2,5–4,0 (Fe_2O_3 + FeO)	0,5–1,2	–	–	–	–	–	–		Спiснювач в керамiчних масах

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Теплоенергетика (паливні золи і шлаки)												
Зола, що утворюється від спалювання вугілля – «зола-унос» (вловлюється електрофільтром)	54,4	24,4	12,0 Fe ₂ O ₃ + FeO	3,1	1,4	0,3	0,1	1,0	–	2,9	SO ₃ – 0,4	Замінник глини, спіснювач, містить паливо, добавка, що вигорає
Шлак котельний	53,8	24,7	2,5 Fe ₂ O ₃ + 12,0 FeO	1,9	1,1	4,0		–	–	–	–	Плавень, технологічне паливо
Фосфогіпс (продукт видалення сірки паливних газів)	0,5– 0,6	0,3– 0,35	0,08	39,0 – 40,0	–	–	–	–	1,0– 1,5	–	SO ₃ – 55,0– 57,0	Плавень, технологічне паливо
Відходи Зміївської ГРЕС	37,0– 63,0	9,0– 37,0	4,0– 17,0 Fe ₂ O ₃ + FeO	1,0– 32,0	0,1– 5,0	–	–	–	–	–	SO ₃ – 0,5– 3,0	Паливо, що не перегоріло – 6,0– 7,0
Відходи вугледобування та вуглезбагачення												
Відходи гравітаційного збагачення вугілля (газове вугілля)	43,0– 50,0	17,0– 24,0	4,0–8,0	1,3–3,2		1,4–2,5		–	–	–	SO ₃ – 6,0– 9,0	Вміст вугілля 4–7 %. Основна сировина в шихті

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відходи флотаційного збагачення вугілля	32,0–48,0	19,0–22,0	4,0–8,0	1,5–3,8		1,4–1,5		–	–	–	SO ₃ – 1,0–2,5	Вміст вугілля 15,0–20 %. Паливно-мінеральна добавка в шихту
Відходи вугледобування	38,93	16,08	1,54	1,54	0,96	0,62		4,2	–	36,89	–	Компонент керамічної шихти
Зола Донецького вугільного басейну (після збагачення)	52,1	22,3	2,1 Fe ₂ O ₃ + 1,3 FeO	1,6	1,1	1,8		0,7	–	16,6	–	Компонент керамічної шихти
Хімічна промисловість												
Бокситовий шлам – відходи виробництва Al ₂ O ₃ з бокситів методом спікання	17,39	7,6	22,07	35,73	1,22	0,3	1,64	–	–	–	SO ₃ – 0,33	Плавень в керамічних масах. Компонент для виробництва портландцементу
Піритні огарки – відходи виробництва H ₂ SO ₄ (процес переробки арсенопіриту)	4,0–10,0	1,0–1,5	47,0–55,0	1,0–1,8	0,6–0,7	–	–	–	–	0,5	SO ₃ – 0,5 – 4,5; CuO – 0,6–1,0	Плавень в керамічних масах, добавка у виробництві портландцементу

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відходи анілінового виробництва	3,36	0,13	78,3 Fe ₂ O ₃ + 15,98 FeO	0,2	0,35	сліди	0,02	–	1,7	–	SO ₃ – 0,16	Плавень, пластифікатор, добавка у виробництві портландцементу
Кремнеземисті відходи виробництва AlCl ₃ та Al ₂ (SO ₄) ₃ з каоліну та глини	55,0	20,0	–	–	–	–	–	–	–	–	SO ₃ – 10,0– 12,0	Спіснювач у виробництві цегли
Червоний шлам - відхід глиноземного виробництва (м. Миколаїв)	10,0	12,0	50,0	7,0	–	5,0	6,0	10,0	–	–	–	Залізовмісна добавка в маси, для фарбування полив, добавка у виробництві портландцементу
Гальванічний шлам (відхід хромування, міднення, цинкування на машинобудівних заводах	–	37,5	57,0	–	–	–	–	–	–	–	ZnO – 3,3; Cr ₂ O ₃ – 2,2	Шлам ХТЗ, добавка, що фарбує

Закінчення табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Інші виробництва</i>												
Гальванічний шлам	7,1– 9,8	1,8– 4,1	21,0– 27,5	25,0 – 31,0	4,3– 5,2	–	–	–	1,6– 3,8	–	Cr ₂ O ₃ – 1,7– 3,1; NiO – 8,1– 12,5; SO ₃ – 4,1– 5,2	Грунтові емалі, ситали
Шлам Констянтинівського металургійного заводу	0,83	0,91	25,24	26,21	1,3	–	–	–	–	12,8	SO ₃ – 32,3	Добавка у виробництві цементів
Нефеліновий шлам	26,0– 30,0	2,6– 6,5	2,1–5,5	52,0 – 56,0	–	–	1,2	–	–	–	–	Компонент цементної шихти
Примітка. Побічні продукти горно-рудної промисловості, відходи вугледобування та вуглезабагачення мають більші межі змінювання хімічних складових, проте на відміну від інших відходів можуть бути в більшій мірі використані як основний сировинний компонент. Таку перевагу надає стабільно високий вміст оксидів кремнію та алюмінію. Вони мають найменші кількості оксидів заліза, що значно впливає на стабільність матеріалів під час термообробки.												

6.2. Використання відходів металургійної промисловості

Основними завданнями розвитку громадського виробництва є забезпечення постійного зростання його ефективності, поліпшення якості продукції та посилення режиму економії. Близько 70 % усіх витрат у промисловості припадає на сировину, матеріали, паливо та енергію. У зв'язку з цим раціональне використання матеріальних ресурсів є необхідною умовою підвищення ефективності громадського виробництва.

Необхідно знижувати матеріаломісткість продукції шляхом ширшого застосування прогресивних конструкторських рішень, удосконалення технологічних процесів, збільшення випуску економічних видів продукції та зменшення питомих витрат сировини та матеріалів, більш глибокої та комплексної їх переробки, а також розширення використання вторинних ресурсів.

Вторинні матеріальні ресурси – це відходи виробництва та споживання, які на певному етапі розвитку науки і техніки можуть бути використані у народному господарстві. До них відносяться залишки сировини, матеріалів або напівфабрикатів, що утворилися при виготовленні продукції та втратили повністю або частково свої споживчі властивості (хімічні та фізичні), а також продукти фізико-хімічної переробки сировини, одержання яких не є метою даного виробничого процесу і які можуть бути використані в народному господарстві як готова продукція після додаткової переробки.

Використання вторинних ресурсів, і перш за все промислових відходів, надзвичайно важливе з низки причин: це забезпечує виробництво дешевою та часто вже підготовленою сировиною; сприяє економії капітальних вкладень, призначених для будівництва підприємств, що добувають і переробляють сировину, та підвищує рівень їхньої рентабельності; дозволяє вивільнити значні площі земельних угідь та

знизити ступінь забруднення навколишнього середовища; економить теплову енергію тощо.

Оскільки обсяг промислових відходів поступово зростає, послідовне підвищення рівня їх використання стає одним із найважливіших загальнодержавних завдань.

Одним із найбільш перспективних напрямів утилізації промислових відходів є їх використання у виробництві тугоплавких силікатних і будівельних матеріалів. Раціональне застосування відходів дозволяє значно знизити витрати матеріальних ресурсів і, як наслідок, вартість будівництва. Зокрема, використання промислових відходів у будівельній промисловості дає змогу зменшити витрати на виготовлення матеріалів на 10–30 % порівняно з виробництвом із природної сировини, а економія капітальних вкладень у цьому випадку може досягати 35–50 %.

Як у нашій країні, так і за кордоном велика увага приділяється проблемі утилізації промислових відходів. Основна частина досліджень зосереджена на розробці технологій та вивченні властивостей в'язучих матеріалів і бетонів на основі шлаків, зол і інших відходів. Досягнуто значних результатів у створенні вискоєфективних матеріалів із шлакових розплавів – шлакосіталів, розроблено технології теплоізоляційних матеріалів та пористих заповнювачів на основі золошлакової сировини, утилізовано відходи гірничодобувної, деревообробної, хімічної, металургійної, вогнетривкої та ряду інших галузей.

Масштаби застосування промислових відходів у будівельній сфері постійно зростають. Так, загальне використання шлаків сягає 80 %. Народногосподарська ефективність переробки кожного мільйона тонн доменних шлаків становить близько мільйона гривень. Передові металургійні підприємства країни практично перейшли на безвідвальну роботу, проте загальний рівень утилізації промислових відходів залишається недостатнім.

Поки більшість сталеплавильних шлаків скидається у відвали, лише невелика частина золошлакових відходів теплових електростанцій використовується, а рівень застосування відходів деревообробної промисловості, хімічних виробництв, а також відходів видобутку та збагачення руд і нерудної сировини залишається низьким.

Таким чином, проблема використання промислових відходів ще остаточно не вирішена. Її ефективне вирішення неможливе без проведення подальших досліджень і впровадження їхніх результатів у практику.

Металургія займає провідне місце серед галузей промисловості як за обсягом перероблюваної мінеральної сировини, так і за питомою витратою ресурсів на тонну кінцевої продукції. На основних технологічних переділах виробництва чорних та кольорових металів утворюються побічні продукти, хіміко-мінералогічний склад і фізико-механічні властивості яких дозволяють розглядати їх як цінну сировину для виробництва будівельних матеріалів.

Найбільш значними за обсягом відходами металургії є нерудні породи і відходи збагачення, що попутно добуваються, а також шлаки і шлами.

Процес виробництва металів починається зі видобутку та збагачення руд, флюсів і вогнетривкої сировини. Нерудні породи, що видобуваються разом із корисними копалинами, та відходи збагачення гірничодобувних підприємств є великою і недостатньо використовуваною мінеральною сировиною. Хімічний склад і фізико-механічні властивості цих матеріалів дозволяють застосовувати їх як дрібний і великий заповнювач у бетоні та дорожньому будівництві, а іноді – як сировину для керамічних виробів і пористих заповнювачів.

При видобутку залізняку побічними продуктами є кварцитові та споріднені породи, частка яких у загальному обсязі видобутку корисних копалин може сягати 50 мас. %. Залізисті кварцити переважно складаються з оксидів заліза та кремнезему.

На гірничозбагачувальних комбінатах при збагаченні бідних руд утворюються великі обсяги дрібного піску – кварцитових хвостів. Властивості хвостів залежать від складу порожньої породи та застосованого способу збагачення.

Бурий залізняк, що містить 35–55 мас. % заліза, зазвичай у вигляді лимоніту $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, збагачують промиванням водою. Дрібні частинки піску та глини видаляють за допомогою спеціальних барабанів або відсаджувальних машин.

Магнітний залізняк містить 50,0–72,5 мас. % заліза у вигляді магнетиту Fe_3O_4 . Його збагачують електромагнітним способом у сепараторах. Якщо руда містить великі та середні вкраплення магнетиту, її дроблять до шматків діаметром 25–30 мм і піддають сухій магнітній сепарації в порожнистих барабанах з електромагнітами. Магнетит, притягуючись до поверхні барабана, відокремлюється від порожньої породи. Руду з дрібними вкрапленнями Fe_3O_4 подрібнюють до частинок близько 3 мм і направляють на мокру магнітну сепарацію, де хвости видаляються струменем води.

Збагачені кварцитові хвости гірничозбагачувальних комбінатів зазвичай містять не менше 55 мас. % оксиду кремнію і трохи більше 15 мас. % сполук заліза (у перерахунку на елементарне), об'ємна маса їх коливається від 1550 до 1900 кг/м³, а модуль крупності – у діапазоні 1,5–2, що відповідає дрібним піскам.

Значні відходи у вигляді піску або щебеню утворюються також при збагаченні титано-магнієвих руд. Вони складаються переважно з магнійвмісних мінералів з домішками апатиту, слюди та інших компонентів.

Металургійні шлаки – це відходи, хімічний і фазовий склад, властивості та напрями застосування яких були докладно розглянуті в осінньому семестрі.

Шламові відходи. При виробництві алюмінію та інших металів у великих кількостях утворюються відходи у вигляді водних суспензій дисперсних частинок – шлами. Для виробництва будівельних матеріалів промислове значення мають нефелінові, бокситові, сульфатні, білі та монокальцієві шлами. Обсяг лише нефелінових шламів, придатних для використання, перевищує 7 млн тонн. За вмістом оксидів CaO , SiO_2 , Al_2O_3 та Fe_2O_3 вони займають проміжне положення між портландцементом, доменним шлаком і глиноземистим цементом.

Мінералогічний склад шламів (за винятком монокальцієвого) характеризується переважанням дикальцієвого силікату (50–90 мас. %), а також наявністю алюмінатів і феритів кальцію. У незначних кількостях присутні карбонат кальцію, луги, сполуки сірки (особливо в сульфатних шламах), водні оксиди заліза та інші компоненти. Наявність у шламах значної кількості води зумовлює часткову гідратацію мінералів з утворенням гідросилікатів, гідроалюмінатів і гідроферитів.

Нефеліновий (білітовий) шлам одержують при вилученні глинозему з нефелінових порід. Мінерал нефелін є алюмосилікатом натрію та калію ($\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$). У процесі переробки нефеліновий концентрат обпалюють у обертових печах у суміші з вапняком при температурі близько 1300 °C. Утворений спек складається переважно з β -дикальцієвого силікату та лужних алюмінатів. Його подрібнюють і піддають вилуговуванню, в результаті чого лужні алюмінати відокремлюються від осаду і переробляються на глинозем – напівфабрикат для виробництва металевого алюмінію, а також на содопродукти. Осад після промивання являє собою грубодисперсну суспензію – нефеліновий шлам.

Хімічний склад нефелінового шламу (мас. %): CaO – 52,0–59,0; SiO_2 – 26,0–30,0; Al_2O_3 – 2,2–6,5; Fe_2O_3 – 2,1–5,5; MgO – 0,2–1,8; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 1,0–2,5; в.п.п. – 1,0–5,5. У його складі міститься частково гідратований беліт (80,0–85,0 мас. %), а також у незначних кількостях дикальцієвий ферит,

трикальцієвий гідроалюмінат, алюмосилікати кальцію та натрію і карбонат кальцію. При вилученні глинозему з нефелінових порід на кожну тонну готової продукції утворюється 7–8 тонн нефелінового шламу, який є цінною сировиною для виробництва портландцементу, безклінкерного нефелінового цементу та виробів автоклавного твердіння.

Бокситовий (червоний) шлам утворюється як відхід при переробці основної сировини для виробництва алюмінію – бокситу. Рудними мінералами бокситів є гідроксиди алюмінію, а основними домішками – кремнезем, оксиди заліза та титану. Глинозем із бокситів одержують мокрим лужним способом або способом спікання. Обидва способи передбачають одержання алюмінату натрію $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, який у воді гідролізується з виділенням кристалічного осаду гідроксиду алюмінію. Останній промивають, сушать і прожарюють з метою видалення гідратної вологи та одержання чистого глинозему.

Сутність мокрого лужного способу полягає в обробці подрібненого бокситу концентрованим лугом в автоклаві при температурі близько $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 0,5–0,7 МПа. Продукт реакції – алюмінат натрію – переходить у розчин, тоді як домішки руди, нерозчинні в лугах, відфільтровуються у вигляді червоного шламу.

При використанні способу спікання боксит змішують з технічною содою і обпалюють при температурі 800–1000 $^{\circ}\text{C}$. Утворений алюмінат натрію вилуговується гарячою водою і переходить у розчин, тоді як інші сполуки – продукти випалу – утворюють осад, відомий як червоний шлам. Характерною особливістю бокситових шламів є високий вміст оксидів заліза та алюмінію. Їхній хімічний склад, мас. %: SiO_2 – 10,0–20,0; Al_2O_3 – 16,0–19,0; Fe_2O_3 – 38,0–40,0; TiO_2 – 4,6–4,8; Na_2O – 6,0–6,5. На відміну від нефелінових, бокситові шлами містять значно менше беліту, натомість характеризуються високим вмістом феритів і алюмоферитів кальцію, алюмінатів, алюмосилікатів та феритів натрію.

На теперішній час основна маса бокситових шламів скидається у відвали. Високий вміст у них оксидів заліза обмежує можливість використання цих шламів як основної сировини для виробництва цементу. Водночас вони можуть успішно застосовуватися як коригувальна добавка, що знижує силікатний модуль цементної сировинної суміші, а також для одержання автоклавних бетонів.

Сульфатні шлами утворюються при заміні соди на сульфат натрію Na_2SO_4 у процесі виробництва глинозему способом спікання. Вони характеризуються наявністю сполук сірки з різним ступенем окиснення.

Близькими за властивостями до шламів глиноземного виробництва є відходи хіміко-металургійної промисловості – білі шлами, які, поряд із значною кількістю беліту, містять 12,0–20,0 мас. % гідроалюмінатів. Як і нефелінові, сульфатні та білі шлами можуть застосовуватися як компоненти портландцементних сировинних сумішей для виготовлення місцевих шламових в'язучих і матеріалів автоклавного твердіння.

При виробництві глинозему з алюмосилікатних порід методом спікання високолужної шихти як відхід утворюється монокальцієвий шлам. На одну тонну глинозему припадає близько 4 тонн такого шламу. У монокальцієвих шламах вміст CaO значно менший, ніж у белітових (35,0–38,0 мас. %), при цьому відношення оксиду кальцію до діоксиду кремнію становить близько 1. Цей вид відходів доцільно розглядати як кремнеземистий компонент сировинної суміші при виробництві портландцементного клінкеру.

6.3. В'язучі матеріали на основі металургійних шлаків

Виробництво в'язучих матеріалів належить до найбільш ефективних напрямів застосування металургійних шлаків. Шлакові в'язучі матеріали поділяють на такі основні групи: шлакопортландцементи, сульфатно-шлакові, вапняно-шлакові та шлаколужні. Найбільше значення для

будівництва мають шлакопортландцементи, обсяги виробництва яких становлять близько 30 % загального випуску цементу. Високою техніко-економічною ефективністю характеризуються також безклінкерні шлакові в'язучі, що відзначаються низькою собівартістю, відносно простою технологією виготовлення та достатньо високими будівельно-технічними властивостями.

У зв'язку з тим, що цій проблематиці вже приділялася значна увага, нагадаємо деякі основні аспекти в галузі шлакових в'язучих матеріалів.

Здатність шлаків при замішуванні з водою схоплюватися і тверднути за певних температурно-вологісних умов залежить від їх хімічного та фазового складу, а також від наявності активаторів. Встановлено, що найбільшу гідравлічну активність мають не повністю склоподібні шлаки, а шлаки, які містять незначну кількість кристалічних фаз. Саме висока внутрішня хімічна енергія шлакового скла забезпечує його підвищену розчинність, у результаті чого утворюються пересичені розчини, що кристалізуються з формуванням міцного каменю.

Гідравлічна активність шлакового скла залежить від температури випуску розплаву з печі, його хімічного складу, характеру та швидкості грануляції тощо. Особливо важливо, зокрема для формування початкової міцності цементів, щоб умови грануляції забезпечували одержання шлаку з щільною склоподібною структурою.

Якість доменних шлаків, що використовуються у виробництві цементів, характеризується коефіцієнтом якості, а також вмістом оксидів алюмінію, магнію, титану та марганцю відповідно до вимог чинних стандартів (ДСТУ).

Механізм гідратації шлакового скла полягає в проникненні в скло негативно заряджених гідроксильних іонів, які порушують електростатичну рівновагу системи та призводять до руйнування структури шлаку. За звичайних умов без добавок, що активізують гідратацію, на поверхні

частинок не утворюються плівки гідратованого кремнезему. Руйнуванню таких плівок і оголенню нових поверхонь шлакових зерен сприяє введення у водний розчин лужних сполук і сульфатів.

За лужної активізації гідратований кремнезем зв'язується з утворенням гідросилікатів та гідроалюмосилікатів кальцію, а за сульфатної – сульфат кальцію безпосередньо взаємодіє з глиноземом, гідроксидом кальцію та водою з утворенням гідросульфоалюмінатів кальцію. Ефект лужної та сульфатної активізації зростає зі збільшенням основності шлаків. За сульфатного збудження активність шлаків підвищується зі зростанням їх алюмінатності.

Роль лужних активізаторів виконують вапно, сода, луги, солі лужних металів і слабких кислот, а також портландцемент; сульфатних активізаторів – двоводний або напівводний гіпс, ангідрит, сульфат натрію. Підвищенню гідравлічної активності шлаків сприяє їх більш тонке подрібнення, що збільшує реакційну поверхню зерен. Водночас особливо істотний вплив на прояв в'язучих властивостей шлаків мають хімічна активація та тепловологісна обробка в автоклавах.

6.3.1. Заповнювачі з металургійних шлаків

Металургійні шлаки є значним резервом забезпечення будівельної промисловості заповнювачами для бетонів. За об'ємною масою шлакові заповнювачі поділяють на важкі (понад 1 000 кг/м³) і легкі (менше 1 000 кг/м³), а за крупністю зерен – на дрібні (менше 5 мм) і великі (понад 5 мм).

Шлаковий щебінь отримують шляхом дроблення відвальних металургійних шлаків або спеціальною обробкою вогненно-рідких шлакових розплавів (литий шлаковий щебінь). Для виробництва щебеню переважно застосовують доменні відвальні шлаки, придатні для переробки сталеплавильні шлаки, а також мідеплавильні, нікелеві та інші шлаки кольорової металургії.

До ефективних видів важких заповнювачів бетону, які не поступаються за фізико-механічними властивостями продуктам дроблення щільних природних кам'яних матеріалів, належить литий шлаковий щебінь. Під час його виробництва вогненно-рідкий шлак із шлакових ковшів зливають шарами на спеціальні ливарні майданчики або в трапецієподібні ями-траншеї. Після витримування протягом 2–3 годин на відкритому повітрі температура розплаву в шарі знижується до 800 °С, унаслідок чого шлак кристалізується. Далі його охолоджують водою, що спричиняє утворення в шлаковому масиві численних тріщин. Після цього на ливарних майданчиках здійснюють дроблення та грохочення шлакових масивів.

Фізико-механічні властивості литого шлакового щебеню металургійного комбінату «Азовсталь» характеризуються такими показниками: об'ємна маса шматків – 2 200–2 800 кг/м³; густина – 2 900–3 000 кг/м³; межа міцності на стиск – 60–100 МПа; водопоглинання – 1–5 %; об'ємна насипна маса щебеню – 1 200–1 500 кг/м³.

Литий шлаковий щебінь характеризується високою морозо- та жаростійкістю, а також значним опором стиранню. Його вартість у 3–4 рази нижча, ніж щебеню з природного каменю. Для виготовлення бетонних і залізобетонних виробів застосовують фракціонований литий шлаковий щебінь крупністю 5–70 мм. Несортований матеріал використовують у дорожньому будівництві та у виробництві мінеральної вати, а відсів може слугувати заповнювачем жаротривких бетонів і замінювати гранульований шлак у виробництві шлакопортландцементу.

Для отримання литого щільного шлакового щебеню кристалічної структури застосовують «малогазисті» вогненно-рідкі шлаки, у яких під час охолодження утворюється мінімальна кількість пір, а об'ємна маса шматків становить не менше 2200 кг/м³.

Необхідною умовою отримання заповнювачів із металургійних шлаків є їхня стійкість до різних видів розпаду. Особливо небезпечний

силікатний розпад, характерний для висококальцієвих, маломарганцевих та малоглиноземистих шлаків. Поліморфне перетворення ортосилікату кальцію є основною причиною цього виду розпаду, який може виникнути при повільному охолодженні шлаків.

Основним способом стабілізації шлаків, схильних до силікатного розпаду, є їхнє швидке охолодження, наприклад шляхом зливу шлакових розплавів тонким шаром або грануляцією. Крім термічного методу, розроблено способи хімічної та кристалохімічної стабілізації, засновані на введенні в розплав добавок, що сприяють утворенню стійких сполук. При хімічному способі в розплав зазвичай вводять добавки (глину, пісок), які зв'язують оксид кальцію та сприяють кристалізації стійких мінералів, таких як геленіт, окераманіт тощо. До ефективних стабілізаторів, при введенні яких утворюються стійкі грати ортосилікату кальцію, відносяться луги, оксиди фосфору, бору та інші.

Небезпечним є також залізистий розпад, що викликається збільшенням об'єму (майже на 38 %) при дії води на сульфід заліза та утворенням гідрату оксиду заліза.

Розпад шлаків починається під час охолодження і завершується у відвалах протягом 2–3 місяців. Шлаки, що пролежали у відвалах тривалий час і не мають ознак розпаду, вважаються стійкими.

Для прискореної оцінки стійкості шлаків до силікатного розпаду пробу пропарюють над киплячою водою або в автоклаві при тиску 0,2 МПа. Шлаковий щебінь вважається стійким, якщо втрата маси фракції, що випробовується, не перевищує 5 %.

Стійкість до залізистого розпаду встановлюють витримуванням шлакового щебню в дистильованій воді протягом 30 діб. Втрата маси не повинна перевищувати 5 %.

Для запобігання вапняному та магнезійному розпаду в шлаках, що переробляються на заповнювачі, не допускається наявність вільних оксидів кальцію та магнію.

Попередню оцінку стійкості структури доменного шлаку можна зробити, знаючи його хімічний склад. Стійку структуру мають шлаки, в яких вміст оксиду кальцію дорівнює або менше величини, обчисленої за відповідною формулою, %:

$$\text{CaO} = 0,92 \text{ SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ MgO}.$$

Залежно від крупності зерен шлаковий щебінь поділяють на чотири фракції: 5–10, 10–20, 20–40 та 40–70 мм. Зерновий склад щебню підбирається з метою забезпечення мінімальної порожнечі. Мінімальна об'ємна насипна маса щебню кожної фракції становить 1000 кг/м³. Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми не повинен перевищувати 25 мас. %. Довжина таких зерен утричі або більше перевищує їхню товщину та ширину.

Для шлакового щебню встановлюється марка за міцністю (15, 25, 35, 45) та морозостійкістю (15, 25, 50, 100, 150, 200).

Шлаковий щебінь застосовується як заповнювач цементних бетонів, у дорожньому будівництві для зміцнення основ та пристроїв асфальтобетонних покриттів. Залежно від структурних особливостей, опору стирання та подрібнення шлаковий щебінь, що застосовується у дорожньому будівництві, ділиться на чотири класи.

Використання відвальних металургійних шлаків у будівництві дозволяє досягти значного техніко-економічного ефекту: вартість шлакового щебню майже вдвічі нижча за вартість щебню аналогічної якості з природного каменю.

Шлакова пемза (термозит) є одним із найефективніших видів штучних пористих заповнювачів. Її отримують поризацією шлакових розплавів шляхом швидкого охолодження водою, повітрям або паром, а також під впливом мінеральних газоутворювачів. Можливі два механізми поризації розплаву: спучування за рахунок підйому газових бульбашок у розплавленій масі; спучування шляхом змішування розплаву з поризуючими газами.

Особливості структури шлакової пемзи залежать від властивостей і складу розплаву, що порізується, а також від природи газів і їх кількості. Вихідні розплави повинні бути стійкими до всіх видів розпаду та можуть мати різноманітний хімічний склад. Температура розплаву, що надходить на поризацію, повинна становити не менше 1250 °С, при цьому в'язкість не повинна перевищувати 5 Па·с. Важливим показником, що визначає придатність шлакових розплавів для пористих заповнювачів, є вміст у них сірки. Велике значення має також температурний інтервал зміни в'язкості: чим він більший, тим вища здатність розплаву до спучування.

З технологічних способів отримання шлакової пемзи найчастіше застосовуються басейновий, струминний та гідроекранний способи.

Басейновий спосіб. Шлаковий розплав виливається в стаціонарний або перекидний металевий басейн, через перфороване днище якого під тиском 0,4–0,6 МПа подається вода. Під впливом утвореної пари та виділення газів відбувається спучування розплаву. Утворені брили пористого матеріалу дробляться і розсипаються на фракції.

Струминний спосіб. Розплавлена маса розбивається на дрібні гранули і одночасно спучується сильними струменями пари або повітря.

Гідроекранний спосіб. Заснований на різкому охолодженні шлакового розплаву в системі відкритих жолобів, що застосовуються при напівсухій грануляції. При цьому створюються оптимальні умови для спучування та отримання шлакової пемзи високої якості. Розплав, що спучується, зі

першого жолоба струменями води викидається на екран, відбивається від нього на другий жолоб, а звідти водою подається на конвеєрний перевантажувач для подальшого охолодження і дроблення.

Шлакову пемзу випускають у вигляді щебню трьох фракцій: 5–10, 10–20 та 20–40 мм, а також піску: пересічного (зерна менше 5 мм), дрібного (зерна менше 1,25 мм) та великого (зерна 1,25–5 мм).

Залежно від об'ємної насипної маси шлакова пемза поділяється на різні марки як для щебню, так і для піску. Марки шлакової пемзи за міцністю встановлюють експериментально, а за морозостійкістю – за кількістю циклів поперемінного заморожування та відтавання, при яких втрата маси не перевищує 8 %. Морозостійкість щебню із шлакової пемзи повинна бути не менше 15 циклів.

Розмір пір шлакової пемзи залежить від способу її отримання і коливається в межах від 0,04 до 4,5 мм. Пористість становить 52–78 %, а водопоглинання – 10–55 %.

Шлакова пемза широко застосовується як заповнювач легких бетонів, забезпечуючи великий діапазон об'ємної маси та показників міцності. Трудовитрати на виготовлення одного кубічного метра цього матеріалу значно менші, ніж на інші пористі заповнювачі, а продуктивність праці відповідно вища.

6.3.2. Бетони на основі металургійних шлаків

В даний час у будівництві розробляються та застосовуються різноманітні види бетонів, у яких в'язучі матеріали та заповнювачі виготовляються на основі металургійних шлаків. Вартість виробів із шлакових бетонів на 20–30 % менша порівняно з традиційними.

В залежності від виду шлакових заповнювачів можна отримувати бетони з різною об'ємною масою. Особливо важкі бетони з щільністю понад 2500 кг/м³ виготовляють на шлаках сталеплавильного та кольорової

металургії, важкі з щільністю 1800–2500 кг/м³ – на литому та відвальному шлаковому щебні, а легкі з щільністю менше 1800 кг/м³ – на шлаковій пемзі та гранульованому шлаку. Дрібнозернисті бетони використовують гранульований шлак як єдиний заповнювач.

За структурою шлакові бетони поділяються на щільні, крупнопористі та комірчасті, причому останні є особливо ефективними. За призначенням їх застосовують у конструкційних елементах, огорожувальних конструкціях, гідротехнічних спорудах, дорожньому будівництві, теплоізоляції, а також у матеріалах із підвищеною кислотостійкістю та жаростійкістю.

Твердіння шлакових бетонів можливе за звичайних умов, проте їхні експлуатаційні властивості значно підвищуються при тепловологісній обробці, зокрема пропарюванні та автоклавному твердінні.

Звичайні важкі бетони. Застосовуючи звичайні або шлакові в'язучі у поєднанні зі шлаковими заповнювачами, можна отримувати важкі бетони всіх марок за міцністю на стиск. Для пропарених бетонів досягається міцність 10–30 МПа, а для бетонів автоклавного твердіння – 30–60 МПа. Заміну великого заповнювача із щільних гірських порід на шлаковий щебін, отриманий дробленням металургійних шлаків, практично не знижує міцність бетону, а іноді навіть підвищує її за рахунок більш розвиненої та активної поверхні.

Використання шлакового піску замість звичайного кварцового призводить до підвищення водопотреби бетонної суміші, що може спричиняти перевитрату цементу. Ефективність застосування шлакового піску як дрібного заповнювача зростає при введенні пластифікуючих добавок або при його поєднанні з кварцовим піском чи гранульованим шлаком. Встановлено техніко-економічну доцільність повної заміни природного піску дробленим гранульованим шлаком.

Інтенсивність твердіння шлакових в'язучих значно чутливіша до температури, ніж звичайних. Якщо для портландцементу підвищення температури понад 80 °С за ізотермічної витримки зазвичай малоефективне, то шлакові в'язучі бажано обробляти при температурі 100 °С і вище. Пропарювання бетонів на шлакових в'язучих здійснюють при 90–95 °С, а автоклавне твердіння – при тиску 0,8–1,2 МПа і температурі 174–190 °С.

Морозостійкість бетонів на шлакових в'язучих і щільному заповнювачі дещо нижча, ніж у звичайних цементних, і становить 50–100 циклів. Підвищити морозостійкість можна за допомогою технологічних прийомів: зниження водо-цементного відношення, пом'якшення режиму теплової обробки, введення повітровтягуючих добавок або застосування автоклавного твердіння замість пропарювання.

Бетони на шлакових в'язучих застосовуються для виготовлення різноманітних несучих залізобетонних конструкцій промислового та цивільного будівництва.

Дрібнозернисті бетони. У ролі в'язучого використовують безклінкерні шлакові в'язучі та шлакопортландцемент, а в ролі заповнювача – шлаковий пісок та гранульований шлак. Міцність на стиск дрібнозернистих бетонів на безклінкерних шлакових в'язучих коливається в межах 10–40 МПа і вище, і в основному залежить від активності в'язучого, виду шлаку, складу бетону, зернового складу піску, умов ущільнення бетонної суміші, температури та тривалості твердіння.

Активність шлакових в'язучих різко зростає при збільшенні тонкості подрібнення, а також при поєднанні високої питомої поверхні в'язучого та інтенсивних способів ущільнення суміші, таких як пресування або вібрування з привантаженням. Застосування подрібнених великих шлакових пісків із розвиненою активною поверхнею забезпечує найкраще зчеплення частинок заповнювача з цементним каменем і підвищує міцність бетонів на 40–60 % порівняно з бетонами на звичайних дрібних пісках.

При використанні безклінкерних шлакових в'язучих оптимальні фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонів досягаються при автоклавній обробці в діапазоні 0,9–1,6 МПа. При тиску 0,9 МПа оптимальна тривалість запарювання становить 6–8 годин, а підвищення тиску скорочує час обробки.

У високоміцних дрібнозернистих бетонах доцільно використовувати суміш подрібненого та неподрібненого гранульованого шлаку, що дозволяє забезпечити оптимальний зерновий склад заповнювача. Формула для визначення оптимального зернового складу шлаку для дрібнозернистих шлакових бетонів із міцністю на стиск 30–100 МПа:

$$J = 100 \sqrt{\frac{d_x}{D-5}} + 3(n-1)$$

де J – кількість шлаку, %, що пройшов через сито з діаметром отвору x ; d_x – найбільший розмір зерен, що відповідає діаметру отворів x , мм; D – максимальна крупність зерен ($D = 10$ мм); n – відношення шлакового заповнювача до цементу ($n = 2$ –6).

Легкі бетони. Шлакові цементи та заповнювачі широко застосовуються для виробництва легких бетонів з об'ємною масою 1200–1600 кг/м³ та міцністю на стиск 5–25 МПа.

Особливістю легких шлакових бетонів на безклінкерних шлакових в'язучих є більша деформативність та дещо менше зчеплення з арматурою порівняно з бетонами на портландцементі.

В якості легких заповнювачів використовують шлакову пемзу з об'ємною насипною масою $\rho_0 = 500$ –800 кг/м³ та гранульований доменний шлак з $\rho_0 = 700$ –1000 кг/м³. Об'ємна маса легких бетонів коливається залежно від марки та виду заповнювачів.

Структура шлакової пемзи та гранульованого доменного шлаку характеризується переважанням склоподібної фази, що пояснює дещо нижчий коефіцієнт теплопровідності шлакових бетонів порівняно з легкими бетонами на заповнювачах кристалічної будови, таких як керамзит, аглопорит чи вермикуліт.

Легкі бетони на шлаковій пемзі відзначаються порівняно високою міцністю на осьове розтягнення та підвищеним пружним модулем. Порівняно з іншими видами легких бетонів, шлакопемзобетон має максимальну граничну розтяжність, що підвищує тріщиностійкість конструкцій. Щільний та поризований шлакобетон застосовують при виробництві стінових панелей.

Легкі бетони на пористих шлакових заповнювачах є одним із найбільш ефективних матеріалів, оскільки питомі капітальні вкладення у виробництво конструктивно-теплоізоляційних шлакопемзобетонів відрізняються від керамзитобетону, а витрати на виробництво шлакопемзобетонів при цьому нижчі на 20–25 %.

Комірчасті бетони. Комірчасті бетони відрізняються рівномірно розподіленими порами у вигляді сферичних осередків діаметром 1–3 мм. Їх виготовляють із в'язучого, кремнеземистого компонента, пороутворювача та води. Для автоклавного твердіння використовують шлакові в'язучі, особливо вапняно-шлакові на гранульованих доменних шлаках, а відвальні шлаки застосовують за умови, що модуль основності $\geq 0,6$, а модуль активності $\geq 0,4$. Вапняно-шлаковий цемент має починати схоплюватися не пізніше ніж через 2 години після замішування, питома поверхня $\geq 400 \text{ м}^2/\text{кг}$, а активна $\text{CaO} \geq 10 \text{ мас. \%}$. Ефективно застосовувати також шлакопортландцемент.

Гранульовані та відвальні шлаки з питомою поверхнею 150–350 $\text{м}^2/\text{кг}$ можуть бути компонентами в'язучого і активним заповнювачем пористих бетонів. Максимальна міцність досягається при співвідношенні шлакове

в'яжуче : кремнеземистий компонент = 1:0,5–1:1,2. Тонкість помелу шлакових складових підвищує міцність на 60 %, а застосування віброобробки знижує водотверде відношення, підвищує міцність на 25–35 % і зменшує усадкові деформації на 15–20 %. Для додаткового зниження водотвердого відношення використовують тривале перемішування та пластифікуючі ПАР.

Тріщиностійкість і довговічність бетонів залежать від усадкових деформацій. Усадка автоклавних шлакових бетонів становить 0,45–0,7 мм/м, безавтоклавних – понад 2 мм/м. Деформація набухання залежить від умов зберігання і коливається від 0,4 до 1,6 мм/м. Для її зниження вводять великі структуроутворюючі заповнювачі – шлакову пемзу або гранульований доменний шлак.

Оптимальні склади комірчастих бетонів мають високу морозостійкість – до 100–150 циклів поперемінного заморожування та відтавання, яка знижується зі збільшенням відкритої пористості.

Для пористих бетонів характерні високі показники сорбційної вологості, паро- і повітропроникності, у 5–10 разів вищі, ніж у важких бетонів. Це обумовлює необхідність захисних покриттів для запобігання зволоженню конструкцій.

Автоклавна обробка пористих бетонів знижує їх здатність пасивувати сталь. Пасивація – це перехід поверхні металу в неактивний стан із утворенням захисної оксидної плівки, яка перешкоджає корозії. У поєднанні з високою проникністю бетонів це вимагає додаткового захисту арматури, наприклад покриттями цементно-казеїновими з інгібіторами, цементно-латексними, бітумними або полімерними.

Конструкції з пористих бетонів на основі промислових відходів відзначаються високими техніко-економічними показниками. Стіни з газобетонних панелей у 1,3–2 рази легші за стіни з керамзитобетону при нижчій вартості. Питомі капіталовкладення у виробництво автоклавного

шлакобетону на 30–40 % менші, ніж для аналогічних конструкцій із інших видів бетону.

Жаростійкі бетони. Шлакові матеріали використовуються у виробництві жаростійких бетонів як в'язучі, заповнювачі та тонкомолоті добавки. В'язучі на основі металургійних шлаків перевершують портландцемент по жаростійкості завдяки низькому вмісту гідрату оксиду кальцію. Використання шлакопортландцементу дозволяє отримати жаростійкі бетони, придатні для експлуатації до 1200 °С.

Для портландцементних бетонів застосовують тонкомолоті кремнеземисті добавки, які реагують із СаО при 800–1000 °С. До таких матеріалів відносяться шамот, зола винесення та тонкоподрібнені доменні шлаки. Ступінь подрібнення шлаків визначають так, щоб через сито № 008 проходило не менше 70 % проби, при цьому модуль основності не повинен перевищувати 1.

Гранульовані та відвальні шлаки, а також шлакова пемза можуть служити заповнювачами жаростійких бетонів. Максимальна робоча температура бетонів на портландцементі та шлакопортландцементі досягає 700–800 °С. Шлаки повинні бути стійкими до розпаду, без сторонніх домішок; загальний вміст СаО ≤ 45 %, модуль основності ≤ 1 .

Якість жаростійких бетонів визначається міцністю на стиск, термічною стійкістю, деформацією під навантаженням при високих температурах, усадкою та термічним розширенням. Початкова міцність важких шлакових бетонів – близько 30 МПа, при 700–800 °С знижується у 2–2,5 рази. Дрібнозернисті бетони на шлакопортландцементі мають вищу термічну стійкість.

Поведінка при статичних навантаженнях характеризується деформаціями при 0,2 МПа. Гранична температура служби бетонів визначається при стиску зразків на 4 % і лежить у межах 700–800 °С.

Найкращі жаростійкі властивості мають бетони на безклінкерних шлакових в'язучих.

Деякі види шлаків, зокрема ферохромові та марганцеві, які мають властивість саморозсипатися, застосовують у виготовленні жаростійких бетонів на рідкому склі. Активність таких шлаків значною мірою залежить від їх хімічного складу та ступеня подрібнення.

6.4. Шлакова вата

Шлакова вата є різновидом мінеральної вати та провідним теплоізоляційним матеріалом. Доменні шлаки, а також мартенівські, ваграночні та шлаки кольорової металургії застосовуються як сировина. Для отримання якісного волокна важлива оптимальна в'язкість розплаву, що забезпечує достатню плинність: до 0,5 Па·с при 1500 °С і 1,5 Па·с при 1400 °С.

Основним показником придатності шлаку є модуль кислотності, який визначає стійкість проти розпаду; для першої категорії вати він повинен бути $\geq 1,2$. Мінеральна вата вищої категорії має модуль кислотності 1,4–1,5. Кислі шлаки більш стійкі до розпаду, а збільшення кремнезему розширює температурний інтервал волокноутворення. Модуль кислотності регулюють кислими (глиняна цегла, зола, кремнеземисті породи) та основними (доломіт, вапняки) добавками. Для шлаків з підвищеним вмістом Fe і Mn оцінюють коефіцієнт насичення (відношення $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ до інших оксидів), який коливається від 2 до 15.

Технологічний процес виробництва шлакової вати включає плавлення шлаку та його переробку у волокно. Найчастіше застосовують шахтні печі (вагранки), рідше ванни чи електродугові печі. Основний спосіб формування волокон – паро-дутьовий, проте дедалі більше застосовують відцентрові та комбіновані методи для отримання довговолонисті вати з

щільністю близько 100 кг/м^3 і мінімальним вмістом неволокнистих включень.

6.5. Литі матеріали

Литі вироби з металургійних шлаків виготовляють з розплавлених шлаків, отримуючи каміння для доріг і підлог, тюрбінги, бордюрний камінь, плитки, труби тощо. Такі вироби економічно вигідні та за механічними властивостями наближаються до кам'яного лиття. Щільні литі шлакові вироби мають об'ємну масу до 3000 кг/м^3 і межу міцності на стиск близько 500 МПа .

Для виготовлення застосовують стійкі до розпаду шлаки (кислі доменні, мартенівські, мідеплавильні, нікелеві). Розплави підігрівають для дегазації, зливають у ківші і подають на форми. Під час кристалізації та охолодження виникає усадка (до 7 %), термічні напруги та можливе утворення тріщин, що усувають у печах для кристалізації та відпалу.

Для зменшення усадкових явищ у виливки вводять заповнювач із кускових шлаків: 10–25 % об'єму у малих виробах і 40–60 % у масивних, частково оплавляючи його для зниження усадки та покращення кристалізації. У великих виробах застосовують сталеву арматуру, яка стягує виливки під час охолодження, запобігаючи тріщинам. Армовані шлаколиті вироби можуть замінювати збірні залізобетонні, перевершуючи їх за міцністю, хоча мають вищу трудомісткість та деяке зниження міцності сталі при високій температурі розплаву.

Пористе шлакове лиття отримують шляхом поризації розплаву, наприклад, зволоженою коксовою дрібницею або обробкою водою. Залежно від пористості об'ємна маса литих виробів коливається від 350 до 1500 кг/м^3 , міцність на стиск – від 1,5 до 30 МПа .

6.6. Шлакоситали

Шлакоситали – це склокристалічні матеріали, отримані спрямованою кристалізацією металургійного шлаку. Сировиною служать шлаки чорної та кольорової металургії, а також золи кам'яного вугілля. Їх використовують як конструкційні та оздоблювальні матеріали завдяки високій міцності, зносостійкості та хімічній стійкості.

Виробництво включає варіння шлакового скла, формування виробів та їх кристалізацію. Скло готують у два етапи: попереднє варіння сировини в конвекторі з рідким шлаком та іншими компонентами, і освітлення отриманої скломаси у ванних печах. Для кольорових шлакоситалів додають оксиди або сульфідів відповідних металів. Вироби виготовляють у вигляді листів, плит, труб та інших форм і витримують у кристалізаторі.

Шлакоситали мають високі фізико-механічні властивості: міцність у кілька разів перевищує міцність вихідного скла і близька до чавуну та сталі, водночас вони втричі легші. Термостійкість сягає 150–200 °С, матеріал відзначається високою стійкістю до хімічних впливів та стирання.

Шлакоситали можна механічно обробляти: шліфувати, полірувати, різати, свердлити алмазним або карборундовим інструментом. Загартування підвищує міцність на 50–100 %.

Шлакоситали знаходять широке застосування у будівництві та промисловості завдяки своїм фізико-механічним властивостям. Листові плити використовують для облицювання цоколів і фасадів, обробки внутрішніх стін та перегородок, а також для огорожень балконів і покрівель. Вони ефективні для сходів, підвіконь та інших конструктивних елементів. Висока зносостійкість і хімічна стійкість дозволяють використовувати шлакоситали для захисту будівельних конструкцій і апаратури у хімічній та гірничорудній промисловості.

Економічний ефект залежить від виду будівництва та матеріалів, що замінюються. Новим напрямом є застосування металошлакових труб як

покриття або заміну сталевих труб, що дозволяє підвищити стійкість трубопроводів до зношування в 10–15 разів при транспортуванні високоабразивних матеріалів, забезпечуючи суттєву економію

6.7. Матеріали на основі шламових відходів

Нефеліновий цемент виготовляють із суміші нефелінового шламу (80–85 %), вапна або іншого активізатора (15–20 %) та гіпсу (4–7 %). Гідравлічна активність цементу залежить від співвідношення оксидів кальцію, кремнезему та заліза, температури випалу та ступеня подрібнення шламу. Оптимальні умови для отримання високоякісного цементу – величина показника $K_p = 0,99–1,02$ і температура 1250–1300 °С. У таких умовах шлам містить максимальну кількість активного β - C_2S та стабільну форму Fe_2O_3 у вигляді дикальцієвого фериту (C_2F).

Вапно у складі цементу підвищує пластичність та водостійкість, а гіпс уповільнює схоплювання суміші та зменшує водопотребу.

Для виробництва шлам висушують до вологості 3–5 %, а потім подрібнюють разом з вапном або клінкером і гіпсом. Подрібнення здійснюють так, щоб залишок на ситі № 02 був менше 1 %, а на ситі № 009 – менше 10 %.

Нефеліновий цемент застосовують для приготування кладочних та штукатурних розчинів, а також для бетонів нормального і автоклавного тверднення. Бетони на ньому при нормальному твердненні досягають марки 100–200, а при автоклавному – 300–500. Вони характеризуються низькою екзотермією, високим зчепленням з арматурою та стійкістю у мінералізованих водах, що робить їх придатними для будівництва гідротехнічних споруд та інших об'єктів.

При автоклавній обробці бетонів на нефеліновому цементі до складу суміші ефективно вводити мелений пісок, оскільки взаємодія дикальцієвого силікату з кремнеземом забезпечує високу міцність виробів. Використання

нефелінового цементу дає значний економічний ефект, зменшуючи капітальні вкладення, собівартість, трудомісткість і витрати палива у порівнянні з портландцементом.

За складом близькими до нефелінового цементу є в'язучі на основі бокситового, сульфатного та інших шламів металургійних виробництв. Ці матеріали містять дикальцієвий силікат, алюмінати, ферити та інші мінерали. Якщо частина мінералів гідратована, для прояву в'язучих властивостей шлами піддають сушінню при температурах 300–700 °С, а активність їх підвищується при додаванні вапна та гіпсу.

Шламові в'язучі відносяться до категорії місцевих матеріалів і найбільш ефективно застосовуються для виробів автоклавного тверднення. Водночас вони можуть використовуватися у будівельних розчинах, оздоблювальних роботах та при виготовленні матеріалів з органічними заповнювачами, наприклад фіброліту.

Портландцемент на основі нефелінового шламу. Хімічний склад деяких металургійних шламів дозволяє використовувати їх як основну сировину для виробництва портландцементного клінкеру, а також як активну мінеральну добавку для портландцементу та змішаних цементів. Для отримання сировинної суміші на основі нефелінового шламу, близької за хімічним складом до стандартного портландцементу, шлам поєднують із вапняком, а при необхідності додають невеликі кількості мінералізаторів, які прискорюють утворення клінкеру. Це дозволяє зменшити кількість компонентів суміші до двох – шламу та вапняку.

Особливістю нефелінового шламу є підвищений вміст лугів, що може негативно впливати на якість клінкеру. Тому лугів у шламі має бути не більше 2%, а водорозчинних сполук, що загущують суміш, – не більше 0,5%. Для одержання сировинної суміші компоненти шламу і вапняку подрібнюють і ретельно перемішують, щоб запобігти осіданню твердої фази.

Шлами вже містять гідравлічно активні мінерали, тому сировинна суміш, що надходить у обертову піч, значною мірою готова до утворення клінкеру. Це дозволяє економити паливо та скоротити час випалу, підвищуючи продуктивність печей. Досвід промислового використання нефелінового шламу показав, що на 1 т глинозему можна одержати 10 т цементу.

Висушений шлам також може застосовуватися як активна мінеральна добавка у змішаних цементах. Підвищення тонкості помелу шламу значно збільшує його активність. Невелика заміна клінкеру шламом не знижує міцності цементу, тоді як введення великої кількості шламу зменшує марочну міцність і прискорює схоплювання.

Бетони на змішаних нефелінових цементах з часом набувають міцності, порівнянної з бетонними сумішами на портландцементі, а в пізніші терміни можуть її навіть перевищувати. Такі цементи характеризуються низькою екзотермією і можуть використовуватися для масивних бетонних споруд, що особливо важливо для будівництва великих гідротехнічних об'єктів.

6.8. В'яжучі матеріали на основі відходів паливної промисловості та енергетики

До 80 % усієї електроенергії постачають теплові електростанції, основним видом палива для яких є кам'яне вугілля. Під час виробництва електроенергії широко застосовується тверде паливо, при спалюванні якого утворюється значна кількість золи та шлаків. Вихід золошлакових відходів обчислюється десятками мільйонів тонн і сягає мільйонів м³. За статистичними даними кількість золи та шлаків, що утворюються на теплових електростанціях, подвоюється кожні 10 років. Значні витрати припадають на видалення та зберігання відходів ТЕС у відвалах, що становить десятки мільйонів гривень на рік.

Цінною та дуже поширеною мінеральною сировиною для виробництва будівельних матеріалів є горілі породи та відходи вуглезбагачення. У менших кількостях використовуються інші відходи паливно-енергетичної промисловості (кам'яновугільна смола, пек, торф'яна крихта, сланцева смола).

Зола – це пилоподібні залишки, що утворюються під час спалювання твердого палива. Розмір частинок золи перебуває в діапазоні від 5 до 100 мкм. Золи класифікують залежно від виду палива, що спалюється, способу його підготовки та спалювання, місця відкладення в котельному агрегаті й способу видалення. Розрізняють вугільні, сланцеві та торф'яні золи. Паливо спалюють у шарі над колосниковими ґратами у вигляді дрібних шматків або шляхом вдування в пилоподібному стані. Золи пилоподібного спалювання проходять більш високотемпературну обробку, мають порівняно однорідний хімічний склад і менший вміст частинок незгорілого палива. Частина золи осідає на трубах котла, поді та стінках топки, проте основна її маса (зола-винос) виноситься димовими газами, уловлюється й накопичується в бункерах, звідки видаляється потоком води, пневмотранспортом або шляхом гідровидалення для транспортування у відвали. Для широкого застосування золи в будівництві перевагу надають пневмовидаленню, що дає змогу постачати золу споживачам у сухому вигляді, з меншим вмістом незгорілих частинок і запобігати їй змерзанню у відвалах узимку.

Хіміко-мінералогічний склад золи відповідає складу порожньої породи палива, що спалюється. Під час згоряння кам'яного вугілля вона є глинистою речовиною з включенням дисперсних частинок кварцового піску, а при спалюванні сланців – мергелями з домішками гіпсу та піску.

Горіння палива супроводжується випалом порожньої породи, у процесі якого дегідратується глиниста речовина та утворюються низькоосновні алюмінати й силікати кальцію. Залежно від кількості рідкої

фази в золі у широких межах може змінюватися вміст скла, яке зазвичай має геленіто-мелілітовий склад (C_2AS – геленіт, $C_2(A,M,S)S_2$ – меліліт).

Зола складається з органічної та неорганічної фаз. Неорганічна фаза включає агреговані й неагреговані частинки скла, а також кристалічні компоненти.

Кам'яновугільна зола може містити за об'ємом 1–22 % частинок незгорілого палива, тобто органічної фази; 25–85 % агрегованих, 8–57 % неагрегованих склоподібних і 0,2–20 % кристалічних компонентів.

Щільність і об'ємна маса зол коливаються залежно від вмісту в них частинок незгорілого палива та зернового складу. На об'ємну масу золи впливають температура спалювання палива, вологість і ступінь ущільнення золи. Її істинна щільність перебуває в інтервалі 1,75–2,4 г/см³, а об'ємна маса в пухкому стані — 600–1300 кг/м³. Питома поверхня зол різних ТЕС є неоднаковою й коливається від 1100 до 3000 см²/г і більше, що зумовлено відмінностями видів палива, способів його підготовки та особливостями паливних агрегатів.

Паливні шлаки являють собою склоподібні зерна неправильної форми розміром до 40 мм. Шлаки є основним видом відходів при кусковому спалюванні палива. За пилоподібного спалювання шлаки становлять 1–25 % від маси утвореної золи. Вони утворюються або в результаті спікання окремих частинок на колосникових ґратах за температури понад 1000 °С, або внаслідок охолодження розплавленої за температури понад 1300 °С мінеральної частини палива.

У зв'язку з інтенсифікацією процесів спалювання твердого палива та переходом до використання багатозольних видів вугілля й сланців перспективним у тепловій енергетиці вважається застосування топок із рідким шлаковидаленням. Продуктом рідкого шлаковидалення є гранульовані паливні шлаки, що утворюються в результаті швидкого охолодження водою мінерального розплаву. Рідке шлаковидалення

забезпечується підігрівом повітря до температури близько 700 °С або шляхом зниження температури плавлення мінеральної частини палива при додаванні до неї флюсів.

На відміну від зол, шлаки, що утворюються за вищих температур, практично не містять незгорілого палива й характеризуються більшою однорідністю.

Хіміко-мінералогічний склад паливних шлаків, так само як і зол, може змінюватися в широкому діапазоні — від надкислих ($M_o < 0,1$) до основних ($M_o > 0,1$). Багато паливних шлаків характеризуються значним вмістом (до 20 % і більше) оксидів заліза, що містяться переважно в закисній формі. Вміст склоподібної фази зазвичай коливається в межах 85–98 %, тоді як у основних шлаків він може бути значно нижчим. У кристалічній фазі виявляються муліт, геленіт, псевдоволластоніт, залізистий монтічеліт, дикальцієвий силікат та інші мінерали.

Горілі породи та відходи вуглезбагачення. Основна маса горілих порід є продуктом випалу порожніх порід, супутніх родовищам кам'яного вугілля. Різновидами горілих порід є глієжі – глинисті та глинисто-піщані породи, обпалені в надрах землі під час підземних пожеж у вугільних пластах, а також відвальні перегорілі шахтні породи.

Поклади природних палаючих порід широко поширені в різних регіонах країни. Щільність глієжів становить 2,4–2,7 г/см³, об'ємна маса – 1 400–2 500 кг/м³, міцність на стиск – 20–60 МПа. За основними фізичними та хімічними властивостями ці породи близькі до глини, обпаленої за температури 800–1000 °С. Хіміко-мінералогічний склад горілих порід є різноманітним, проте спільною ознакою для них є наявність активного глинозему у вигляді радикалів дегідратованих глинистих мінералів або у формі Al_2O_3 , а також активного кремнезему й залізистих сполук. На відміну від зол і шлаків, горілі породи майже не містять склоподібних компонентів

і характеризуються високою сорбційною здатністю. Вміст незгорілого палива в глієжах досягає 3 %, а у відвальних горілих породах – дещо вищий.

Під час видобутку кам'яного вугілля поряд із горілими породами у значних кількостях накопичуються негорілі шахтні породи, у яких вміст вугілля сягає 20–30 %. Шахтні породи зазвичай представлені глинистими сланцями, аргілітами та алевролітами – каменеподібними осадовими гірськими породами, що не розмокають у воді, з щільністю близько $2,8 \text{ г/см}^3$ та об'ємною масою $2\,500\text{--}2\,700 \text{ кг/м}^3$.

Підприємства коксохімічного виробництва скидають у відвали відходи вуглезбагачення у вигляді шламу з вологістю до 30 %, за якого розмір частинок становить менше ніж 0,14 мм; «хвостів» флотації, що містять шахтну породу з включеннями палива та мають розмір частинок до 3 мм, а також великих шматків породи. Відходи вуглезбагачення містять до 20 % і більше паливної складової та характеризуються високим тепловим потенціалом. Вони являють собою суміш глин, глинистих сланців і вміщуючих порід (пісковиків, пісків, рідше – вапняків).

6.9. В'язучі матеріали на основі золошлакових відходів

Хіміко-мінералогічний склад і гідравлічна активність паливних зол та шлаків дають змогу широко застосовувати їх у виробництві в'язучих матеріалів. Золошлакові відходи можуть використовуватися у складі безклінкерних в'язучих, у композиціях із цементним клінкером як активна мінеральна добавка, а також як сировинний компонент для одержання цементного клінкеру.

Безклінкерні зольні в'язучі. Зола має певну пуццоланову активність, тобто здатна за нормальної температури зв'язувати оксид кальцію. Активність золи спостерігається особливо в найбільш тонких фракціях і зростає зі збільшенням вмісту склоподібної фази. Скло в лужному та сульфатному середовищі легше гідратується при підвищеному

вмісті глинозему. Знижену активність мають кислі золи. Активність зол, як і шлаків, різко зростає при гідротермальній обробці.

Серед безклінкерних зольних в'язучих найбільш відомий вапняно-зольний цемент – гідравлічне в'язуче, одержуване спільним помелом або ретельним змішуванням подрібненої золи та вапна. У золі вміст незгорілого палива має бути мінімальним (у кам'яновугільних золах – не більше 10 %, у торф'яних – не більше 5 %), а вміст SO_3 не повинен перевищувати 3 %. Перепалені оксиди CaO та MgO , що викликають нерівномірність зміни обсягу в'язучого, не повинні перевищувати 5 %. Вапно зазвичай застосовують гашене.

Склад вапняно-зольних цементів визначається вмістом активного оксиду кальцію у золі та мінералів, здатних до гідратації. Оптимальний вміст вапна у цих в'язучих коливається від 10 до 40 %, зменшуючись при збільшенні вмісту у золі вільного оксиду кальцію та активних мінералів.

Різновидами вапняно-зольного цементу є ТЕЦ-цемент та торфозольний цемент. Їх отримують при спалюванні відповідно кам'яного вугілля або торфу, попередньо подрібнених разом із вапняком. У топках при цьому відбувається вигорання органічних сполук, дегідратація глинистої складової золи палива з частковим її оплавленням, дисоціація кальциту з утворенням активного тонкодисперсного оксиду кальцію та взаємодія його з кислотними оксидами золи. Значна кількість вільного перепаленого оксиду кальцію може викликати нерівномірність зміни обсягу.

Вапняно-зольні цементи можна також отримувати із очажних залишків печей на цегельних заводах, що складаються з золи палива та бою цегли, а також із залишків вапняних печей; у цьому випадку добавка вапна не потрібна. Тонкість подрібнення вапняно-зольних цементів має забезпечувати проходження через сито № 008 не менше ніж 90 % маси проби. Схоплювання в'язучого починається не раніше ніж через 25 хвилин і закінчується не пізніше ніж через 24 години.

Схоплювання та інші властивості цементу покращуються при введенні до складу гіпсу (близько 5 мас. %) та застосуванні негашеного вапна. Такі цементи мають меншу водопотребу та кращу водоутримуючу здатність. При твердненні утворюються гідроалюмосилікати (гідрогранати) та гідросилікати кальцію, від співвідношення та основності яких залежить міцність в'язучого. Максимальну міцність забезпечують низькоосновні гідросилікати кальцію; їх утворення можна оптимізувати підбором складу в'язучого, а також підвищенням температури та тривалості гідротермальної обробки. Швидкому утворенню гідросилікатів кальцію сприяє високий рівень подрібнення золи.

Марку цементу визначають виготовленням зразків-балок, які витримують 7 діб у вологому середовищі, після чого розпалублюють і зберігають у воді ще 21 добу. Можливі марки: 50, 100, 150 та 200. Застосування автоклавної обробки дозволяє отримувати бетони з міцністю 15–25 МПа.

За основними будівельно-технічними властивостями вапняно-зоільні цементи близькі до інших вапняно-пуццоланових в'язучих. Основна сфера застосування – кладочні та штукатурні розчини, а також вироби автоклавного тверднення.

Виробництво вапняно-зоільних матеріалів економічно ефективно, оскільки потребує в 2–2,5 рази менше капітальних вкладень, ніж цементне чи вапняне виробництво.

У зазначених в'язучих здійснюється лужна та сульфатно-лужна активізація. Для висококальцієвих (CaO понад 20 %) паливних шлаків і зол оптимальною є лужна активізація, а для низькокальцієвих (CaO менше 20 %), кислих та надкислих – сульфатно-лужна. Допустимі й інші способи хімічної активації тонкодисперсних зол, наприклад замішування 3–4 % розчином хлориду кальцію.

Зольні цементи. Золи та паливні шлаки можуть застосовуватися як сировинний компонент портландцементного клінкеру та активної мінеральної добавки при виробництві портландцементу, а також композиційних зольних та шлакових цементів. У складі сировинної суміші при виробництві клінкеру можна замінити глинистий і частково вапняковий компоненти паливними шлаками, що в деяких випадках дозволяє покращити хіміко-мінералогічний склад клінкеру та умови його випалу.

Орієнтовну оцінку придатності золошлакових відходів як компонента сировинної суміші можна встановити за величиною умовного силікатного модуля:

$$N_{\text{усл.}} = \frac{\text{SiO}_2}{1,77 \text{ Al}_2\text{O}_3},$$

який має бути не нижче 1,9. Вищі техніко-економічні показники виробництва клінкеру досягаються при використанні сухих зол пневмовидалення.

Особливо цінною для цементної промисловості є присутність у складі зол залишків незгорілого палива, вміст якого в середньому становить близько 10 %. Це означає, що при використанні 1 млн т золи як сировинного компонента цементна промисловість отримує додатково близько 100 тис. т палива. Оскільки зола має меншу водопотребу, ніж глина, її використання у складі сировинної суміші дозволяє знизити вологість шламу на 33–34 %, зменшити витрату палива на 7–10 % та підвищити продуктивність печей.

Застосування зол як сировинного компонента клінкеру обмежується їх нестабільним складом та значним вмістом сульфідів і лугів.

Основна частина паливних шлаків і зол у виробництві цементу використовується як активна мінеральна добавка. При цьому вони повинні містити не більше 40 % SiO_2 , 3 % SO_3 та 10 % в.п.п. Попелу винесення та

паливні шлаки можна вводити як і інші активні мінеральні добавки в портландцемент у кількості не більше 15 %, у пуццоланові – не менше 25 % і не більше 40 %.

При заміні частини цементу золою або шлаками майже пропорційно до кількості введеної добавки збільшується нормальна густина цементного тіста, і відповідно подовжуються терміни схоплювання. При невеликому вмісті зольних добавок (менше 10 %) міцність цементу змінюється незначно. При вмісті золи понад 15 % міцність у ранні терміни знижується, а через 3 місяці і більше досягає або навіть перевищує міцність вихідного портландцементу.

Сприятливий вплив добавки золи до портландцементу проявляється при гідротермальній обробці бетонів, що сприяє інтенсивності тверднення зольного портландцементу, а також при підвищенні дисперсності золи. Збільшення дисперсності золи не підвищує водопотребу зольних портландцементів, а навпаки, має пластифікуючу дію.

Внаслідок порівняно невеликої гідравлічної активності золи застосування зольних цементів значно знижує тепловиділення в бетоні, що є суттєвим фактором при використанні останнього у масивних спорудах. Використання золи будь-якого типу помітно підвищує сульфатостійкість бетонів, особливо при застосуванні клінкеру з високим вмістом C_3A .

Пористі заповнювачі з паливних зол та шлаків. Вирішення однієї з найважливіших задач будівельної індустрії – зниження маси будівель та споруд – неможливе без розвитку виробництва пористих заповнювачів для легких бетонів. Одним із найбільш перспективних заповнювачів є золошлакові відходи теплової енергетики.

Заповнювачами легких бетонів можуть служити: золи, щебінь та пісок із паливних шлаків, аглопорит на основі золи ТЕС, зольний випалювальний та безвипалювальний гравій, глинозольний керамзит.

Щебінь та пісок із шлаків ТЕС. Як пористі заповнювачі легких бетонів застосовують шлаки від спалювання антрациту, кам'яного та бурого вугілля, торфу та сланцю. Властивості шлаків залежать від способу спалювання та виду палива. Найбільш сприятлива пориста структура антрацитових та кам'яновугільних шлаків забезпечується при шматковому спалюванні, а шлаків бурого вугілля – при пилоподібному. Пилоподібне спалювання або переробка антрациту та кам'яного вугілля у газогенераторах призводить до надмірного спікання та отримання щільних і важких заповнювачів.

Шкідливими компонентами шлаків, що при підвищеній кількості можуть викликати руйнування бетону, є сульфати та сульфіді. Загальний вміст сірчаноокислих та сірчистих сполук у перерахунку на SO_3 паливних шлаках не повинен перевищувати 3 % за масою, у тому числі не більше 1 % водорозчинних сульфатів та 1 % сульфідів.

Неприпустима присутність у шлаках ТЕС вільного оксиду кальцію, гасіння якого в затверділому бетоні може бути причиною руйнувань. Так само, як і металургійні шлаки, шлаки ТЕС повинні бути стійкими проти силікатного та залізного розпаду. Стійкість проти силікатного розпаду визначають пропарюванням та автоклавною обробкою пористого щебеню, а проти залізного – 30-денним витриманням у дистильованій воді. Втрата маси проби при цьому не повинна перевищувати 5 %.

Для запобігання розпаду паливні шлаки рекомендується застосовувати в бетонах після тривалого (3–6 місяців) вилежування у відвалах, внаслідок чого відбувається гасіння вільного оксиду кальцію, часткове вилучення розчинних солей та окиснення паливних залишків.

При застосуванні шлаків у бетонах доцільно збагачувати їх, відсіваючи дрібні фракції, що містять найбільшу кількість незгорілого вугілля та інших шкідливих домішок.

6.10. Техногенна сировина для виробництва в'язучих матеріалів спеціального призначення

Прискорення науково-технічного прогресу в цементній промисловості пов'язане зі створенням та освоєнням нової техніки, технологій і ефективних видів матеріалів. Сучасна промисловість розвивається дуже динамічно й інтенсивно, із залученням останніх наукових розробок, серед яких особливе значення мають ресурсозберігаючі технології.

На багатьох промислових підприємствах нашої країни утворюються відходи, які за своїм хімічним складом можуть бути використані як вихідна сировина при виробництві в'язучих матеріалів спеціального призначення з комплексом заданих властивостей.

Використання побічних продуктів і відходів інших галузей промисловості у виробництві в'язучих матеріалів дозволяє знизити витрати на їх утилізацію та складування, що запобігає забрудненню навколишнього середовища та знімає необхідність виділення великих капіталовкладень на будівництво спеціальних накопичувачів. Крім того, знижуються витрати на основну та другорядну сировину, паливо, електроенергію, обладнання та робочу силу в цементній промисловості.

На території України накопичено близько 25 млрд т твердих відходів, які займають близько 150 тис. га родючих земель і негативно впливають на природні ландшафти та екологічні умови. У сучасних індустріальних країнах світу рівень використання промислових відходів досягає 70–80 %, тоді як в Україні та країнах ближнього зарубіжжя він не перевищує 12–15 %. Щорічно на багатьох підприємствах України накопичуються промислові відходи, що за хімічним, гранулометричним і мінералогічним складом схожі з основною сировиною для виробництва різних матеріалів спеціального призначення, у тому числі спеціальних в'язучих. Питання комплексного

використання мінеральної сировини та утилізації різноманітних відходів привертають дедалі більшу увагу науковців і підприємців.

6.10.1. Алюмовмісні відходи хімічної промисловості

На сьогоднішній день успішно використовуються відходи металургійної, паливної, енергетичної та хімічної промисловостей, а також відходи переробки деревини та іншої рослинної сировини. Металургія займає одне з провідних місць серед інших галузей промисловості як за обсягом перероблюваної мінеральної сировини, так і за питомою витратою на тонну кінцевої продукції.

До найбільш багатотонажних відходів цього типу відносяться:

- червоні шлами глиноземистого виробництва;
- шлаки виробництва вторинного алюмінію (вміст Al_2O_3 до 70 % за масою);
- шлами алюмотермічного виробництва рідкісних і тугоплавких металів (вміст Al_2O_3 до 95 % за масою);
- відпрацьовані каталізатори на основі оксиду алюмінію (гідрування нафти, очищення газу від сірки тощо);
- глиноземисті та високоглиноземисті шлаки чорної металургії.

У зв'язку з високим вмістом Al_2O_3 (50–85 %) і підвищеною тугоплавкістю, шлаки алюмотермічного виробництва металів і сплавів, а також мінеральні відходи виробництва вторинного алюмінію (60–72 % Al_2O_3), представляють великий практичний інтерес, перш за все як техногенна мінеральна вогнетривка сировина.

На багатьох алюмінієвих заводах і у виробництві вторинного алюмінію щорічно утворюється близько $3,5 \cdot 10^6$ т шлаків, що містять 50–60 % оксиду алюмінію. Найбільш раціональним способом їх використання є додавання до складу матеріалів плавки при виробництві глиноземистих шлаків доменним способом.

Якість шлаку як вихідної сировини для приготування цементу визначається його хімічним складом і кристалічною структурою. Основні компоненти глиноземистого шлаку: Al_2O_3 , CaO , SiO_2 . Їх сума становить 96–98 % за масою. Розглянута можливість часткової заміни бокситу в шихті виробництва високоглиноземистих шлаків доменним способом на відходи виробництва вторинного алюмінію. Таке застосування не тільки забезпечує утилізацію відходів вторинного алюмінію, але й сприяє зниженню споживання коксу та собівартості глиноземистого цементу.

Промислові експерименти показали, що використання відходів виробництва вторинного алюмінію як компонента шихти призводить до збільшення вмісту оксиду алюмінію в глиноземистому шлаку з 44,6 до 47,3 %. Це є ресурсозберігаючою технологією, що дозволяє залучити техногенні ресурси та знизити екологічне навантаження промислових регіонів.

В останні роки широко застосовуються високоглиноземисті цементи з використанням шлаку алюмотермічного виробництва як основного компонента. Основні мінерали таких цементів: CaAl_4O_7 , $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ і $\text{Na}_2(\text{Al,Cr})_{24}\text{O}_{37}$. Введення цих шлаків у високоглиноземисті цементи сприяє швидкому набору міцності протягом 3–7 діб, не знижуючи при цьому температури застосування.

Розроблено технологію отримання високоглиноземистих цементів і наповнювачів із шлаків алюмотермічного виробництва, які широко застосовуються у важких жаростійких бетонах середньої щільності 1900–2500 кг/м^3 з температурою експлуатації 1400–1600 °С.

Дослідження показали ефективність високоглиноземистих цементів зі шлаків у жаростійких бетонах на пористих заповнювачах. Синтезовані цементи на основі шлаків, отриманих при виплавці алюмотермічним способом ферротитану і безкарбонового ферохрому, містять велику кількість глинозему через додавання металевого алюмінію для відновлення

металу. Однак хімічний склад шлаків і цементів нестабільний і коливається в широких межах.

Основні мінерали цементу: моноалюмінат кальцію (визначає гідравлічні властивості), $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ та хромвмісна шпинель. Кількісний склад мінералів, мас. %: MgAl_2O_4 – 40–55, CaAl_2O_4 – 10–15, $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ – до 40.

Основні сировинні матеріали для алюмохромітних цементів: карбонат кальцію, глинозем, залізний та хромітовий концентрати.

Через нестачу в Україні природних сировинних матеріалів та для зниження енерговитрат доцільно використовувати відходи різних галузей промисловості, що також сприятиме поліпшенню екологічної ситуації в багатьох промислових регіонах країни.

6.10.2. Барійвмісні відходи хімічної промисловості

Ученими НТУ «ХПІ» проведено дослідження відходів хімічної промисловості деяких підприємств з метою оцінки можливості їх використання для створення цементів спеціального призначення з високими фізико-хімічними властивостями.

На «Заводі хімічних реактивів» НВК «Інститут Монокристалів» (м. Харків) в процесі синтезу амінокапронової кислоти на стадії осадження накопичуються відходи, що включають до 95 % за масою BaCO_3 . Це дозволяє розглядати їх як перспективну сировину для виробництва барійалюмінатних цементів. Відповідно до СТП 88.0205091.032–95, ці відходи представляють собою порошок біло-сірого кольору з жовтими або чорними включеннями.

Встановлено, що відходи складаються з 85,5 % за масою BaCO_3 , решта – β -глинозем. Загальна вологість матеріалу становить 5 %. Таким чином, відходи виробництва амінокапронової кислоти можуть бути використані як барійвмісна сировина при синтезі нового класу барієвих в'язучих матеріалів.

Слід підкреслити, що всі вказані відходи представляють собою або тонкоподрібнені порошки (питома поверхня 1200–1700 см²/г), або гранули до 3 мм крихкої структури. Це дозволяє не проводити додаткових заходів для підготовки сировинної суміші.

Таким чином, встановлено, що відходи виробництва амінокапронової кислоти можуть ефективно використовуватися як сировинний компонент для виробництва барійвмісних цементів спеціального призначення.

6.10.3. Кальційвмісні відходи хімічної промисловості

Як заміник кальційвмісної сировини запропоновано використовувати кальційвмісні відходи водоочищення. Перспективним є застосування відходів різних хімічних виробництв як сировинних компонентів для виробництва в'язучих матеріалів. На більшості етапів виробництва утворюються відходи, які можуть бути корисними для технології виготовлення цементу.

У результаті декарбонізації річкової води на спорудах зовнішнього водопостачання на хімічних підприємствах утворюється шлам, який може використовуватися як вихідний кальційвмісний компонент при виробництві цементу. Основними оксидами шламу водоочищення є MgO, SO₃, CaO, R₂O, Fe₂O₃.

Шлам водоочищення має дрібнодисперсну структуру, питома поверхня, виміряна методом повітропроникності, становить 1200 м²/кг. Використання цього шламу дозволяє знизити витрати на його помел у порівнянні з іншими аналогічними компонентами сировини. Природна вологість матеріалу становить близько 50 %, що дає можливість готувати сировинну суміш мокрим способом.

Таким чином, відходи водоочищення хімічних виробництв можуть ефективно використовуватися як вихідний кальційвмісний компонент при виробництві глиноземистого цементу.

Пошук нових джерел вихідної сировини дозволяє відмовитися від дорогої імпортової сировини, що значно зменшує собівартість готового продукту.

6.10.4. Каталізатори хімічної промисловості

Одним із основних завдань промисловості України, зокрема цементної, є зниження енерговитрат та вдосконалення технологічних стадій з точки зору ресурсо- та енергозбереження.

Крім відходів водоочищення, на хімічних виробництвах утворюються й інші хіміко-технологічні відходи, наприклад відходи носія каталізатора ГПС–4Ш. На сучасному етапі при виробництві аміаку очистка природного газу від сірчаних сполук здійснюється методом гідрування на алюмокобальтмолібденовому каталізаторі (АКМ).

Каталізатор АКМ.

АКМ є універсальною композицією $\text{Co}(\text{Ni})\text{Mo}(\text{W})\text{S}$ на носії $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, який найчастіше отримують із беміту ($\text{AlOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) або псевдобеміту ($\text{AlOOH}\cdot x\text{H}_2\text{O}$, $x = 1,3\text{--}1,8$) шляхом прожарювання в діапазоні температур 300–450 до 600–900 °С, залежно від складу та морфології конкретного попередника.

Найбільш поширені каталізатори гідроочищення – саме АКМ. Алюмокобальтмолібденовий каталізатор, що випускається промисловістю, має такі характеристики: насипна щільність: 0,64–0,74 кг/л; міцність на таблетку, не менше: 5,0 кг; питома поверхня, не менше: 100 м²/г; відносна активність, не менше: 95 %; вміст окису кобальту (CoO): 6–7 %; вміст окису молібдену (MoO_3): 12,5–14,5 %; вміст домішок Fe_2O_3 : не більше 0,27 %; вміст домішок Na_2O : не більше 0,15 %.

Свіжоприготовлений каталізатор містить Al_2O_3 , CoAl_2O_4 , CoO , MoO_3 , CoMoO_4 та складний кобальтмолібденовий оксид.

Кобальт надає каталізаторам дегідруючих властивостей, проте він не стійкий до отруйної дії контактних речовин і не може використовуватися у гідрогенізаційних процесах. Молібден є р-напівпровідником, як і метали VIII групи.

Поєднання кобальту з молібденом надає сумішам і сплавам біфункціональні властивості: здатність одночасно здійснювати гомолітичні та гетеролітичні реакції, а також стійкість до отруйної дії сірчистих і азотистих сполук, що містяться у сировині.

Різні форми активного компоненту на поверхні каталізатора наведені на рисунку 6.1.

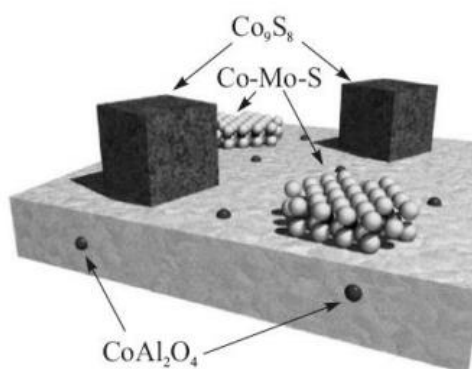


Рисунок 6.1 – Різні форми активного компоненту на поверхні каталізатору

Каталізатори АКМ відрізняються високою термічною стійкістю, стійкістю до каталітичних отрут та тривалим терміном служби.

У процесі тривалої експлуатації можливість регенерації каталізатора зменшується і з часом стає неможливою. Після завершення терміну служби каталізатор вивантажують з колони та направляють на повну переробку. Саме в такому стані відпрацьований каталізатор може бути використаний у технології виробництва глиноземистих цементів.

Каталізатор СТК.

Відходи каталізаторів, що застосовуються при каталітичній конверсії оксиду вуглецю (II), можуть замінити залізовмісну сировину.

Промислова конверсія CO водяною парою здійснюється у два ступені. На першому – середньотемпературному – при 350–450 °C на оксидному залізохромовому каталізаторі конвертується більша частина CO (до 8 % залишку), а на другому – низькотемпературному – при 200–220 °C перетворюється залишкова кількість CO.

Раніше для конверсії оксиду вуглецю (II) використовували каталізатор на основі чистого Fe₃O₄. Він мав низьку активність та недостатню термостабільність. Подальші дослідження дозволили вдосконалити його шляхом введення оксиду хрому, що перешкоджає росту кристалітів Fe₃O₄ та збільшує термін служби каталізатора до трьох і більше років.

У країнах СНД каталізатори парової конверсії CO випускаються під маркою СТК (середньотемпературна конверсія), зокрема СТК-1-5, СТК-1-7, СТК-2-5, СТК-1М, СТК-2М-9. Перша цифра після СТК позначає спосіб приготування: 1 – формований, 2 – таблетований. Друга цифра вказує на діаметр гранул або таблеток у мм.

Ці каталізатори використовуються як у «старих» схемах виробництва аміаку (паро-киснева каталітична або високотемпературна конверсія метану), так і в сучасних агрегатах за енерготехнологічним принципом. У старих схемах конверсія CO проводиться в одну стадію на залізохромовому каталізаторі при атмосферному тиску або 2–3 МПа. Формовані каталізатори типу СТК-1 застосовують при атмосферному тиску, а таблетовані – типу СТК-2 – при роботі під тиском. У великих сучасних агрегатах рекомендується використовувати каталізатори марок СТК (СТК-1-5, СТК-2-5, СТК-1М) при тиску до 3 МПа.

Для середньотемпературної конверсії СО виробляють каталізатори чотирьох марок, що відрізняються формою, розміром гранул і хімічним складом. Серед зарубіжних аналогів найбільш поширені: 71-5 (ICI, Великобританія), SK-201-2 (Haldor Торсе, Данія), К 6-11 (BASF, Німеччина), С-12-1 (CCI, США), TZC-3/1 (INS, Польща).

Завдяки введенню промотуючих домішок активність деяких каталізаторів зростає у 1,5–2 рази порівняно з аналогами. Після завершення терміну експлуатації каталізатор має вигляд циліндричних гранул темно-коричневого кольору з нечіткими гранями, темними вкрапленнями та значною пористістю.

Хімічний склад відпрацьованого каталізатора дозволяє використовувати його як залізовмісний та хромовмісний компонент у виробництві цементу замість оксидів Fe_2O_3 і Cr_2O_3 марки ЧДА, що сприяє створенню ресурсоощадної технології тампонажних цементів.

Основний фазовий склад каталізаторів включає: гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$); маггеміт ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$); складний ферохроміт ($(\text{Fe}_{0,6}\text{Cr}_{0,4})_2\text{O}_3$).

Це свідчить про можливість використання відпрацьованих каталізаторів СТК як основного замітника залізовмісної вихідної сировини.

Поверхня гранул каталізатора має буро-червоний колір, характерний для оксидів заліза (III). Внутрішня поверхня гранули порувата, з рівномірно розташованими повздовжніми тріщинами, що зумовлює низьку механічну міцність. Колір внутрішньої поверхні сірий, що свідчить про наявність ферохроміту ($(\text{Fe}_{0,6}\text{Cr}_{0,4})_2\text{O}_3$). Спостерігаються поодинокі вкраплення з металевим блиском, ймовірно, представлені залишками металевого заліза.

Висока поруватість та низька міцність гранул каталізатора дозволяють використовувати його без попередньої підготовки, тобто без подрібнення або помелу. Відпрацьований каталізатор може вводитися безпосередньо в сировинну суміш перед її основним помелом. Відсутність розчинних компонентів забезпечує можливість помелу як сухим, так і

мокрим способом, що спрощує підготовку сировини для виробництва цементу.

Алюмохромовий каталізатор ГІАП.

Алюмохромові каталізатори пропонуються як заміна алюмінієвої сировини та як джерело хрому (III) для виробництва глиноземистих цементів. Вони характеризуються високою термостабільністю та механічною міцністю, що забезпечує тривалий термін служби навіть за високих температур. Активність каталізатора залежить від форми оксиду хрому: аморфний Cr_2O_3 є найбільш активним, тоді як кристалічна форма α - Cr_2O_3 менш активна через меншу питому поверхню. Наявність оксиду алюмінію стабілізує Cr_2O_3 , уповільнює його кристалізацію та підвищує термостійкість, а додаткові промотори підвищують селективність каталізатора, блокуючи небажані кислотні центри.

Каталізатор ГІАП-14С застосовується у другому ступені пароповітряної конверсії природного газу, де він стабілізує зону горіння та захищає нижній шар нікелевого каталізатора від різких теплових коливань. Високопористі гранули з α - Cr_2O_3 та γ - Al_2O_3 забезпечують легкість введення у сировинну суміш без попереднього подрібнення. Технологія виготовлення включає просочення оксидного носія розчинами сполук хрому або співосадження гідроксидів алюмінію і хрому з розчинів нітратів, що дозволяє отримати каталізатор з високою активністю та термостабільністю. Використання сучасних методів, зокрема СВЧ-випромінювання на стадіях просочення та сушки, підвищує експлуатаційні та каталітичні властивості, забезпечуючи збільшення виходу і селективності олефінів.

Таким чином, алюмохромові каталізатори ГІАП можуть ефективно використовуватися як основна алюмінієва сировина для глиноземистих цементів, сприяючи формуванню активних мінеральних фаз і підвищенню технічних властивостей в'язучих матеріалів.

Каталізатор ГПС–4Ш.

До вторинної сировини відносять відпрацьовані або відбраковані носії кобальтвмісних каталізаторів, які після завершення виробничого циклу втрачають каталітичну активність і зазвичай відправляються у відвали. Такі каталізатори містять сполуки рідких та кольорових металів, а також різноманітні домішки – коксові відкладення, смолисті залишки та сірко-, азот- і фосфорвмісні сполуки, які є токсичними, проте під час високотемпературної обробки цементної сировини вигоряють. На хімічних підприємствах кобальтвмісні каталізатори використовуються для гідрування сірковмісних сполук у природному та нафтозаводському газах, сировині для виробництва аміаку, метанолу та водню. Після відпрацювання вони містять значну кількість Al_2O_3 , MoO_3 та CoO , що дозволяє розглядати їх як глиноземвмісну сировину для спеціальних цементів.

На прикладі відпрацьованого каталізатора ГПС-4Ш, який містить 87 мас. % Al_2O_3 , показано, що такі кобальтвмісні каталізатори можуть ефективно застосовуватися для виробництва барійалюмінатних цементів спеціального призначення. Вони мають високу активність у процесі знесірчення порівняно з нікельвмісними каталізаторами, навіть при зниженому вмісті активного компонента, завдяки характеру його розподілу. Каталізатори мають гранульовану структуру діаметром до 3 мм світло-блакитного кольору, що забезпечує стабільність складу, термостійкість та легкість подрібнення у шаровому млині без додаткової підготовки. Фазовий склад $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ та CoMoO_4 робить їх придатними для використання як сировини при виробництві глиноземистих цементів, де наявність активного глинозему і кобальтової шпінелі сприяє формуванню фаз клінкеру та підвищенню фізико-механічних властивостей матеріалу. Дрібнозерниста структура каталізатора та численні тріщини полегшують його розмелювання, а розшарування за фазовим складом не спостерігається.

Питання для самоконтролю за розділом 6

1. Що таке вторинні матеріальні ресурси?
2. Які економічні та екологічні переваги використання промислових відходів?
3. Які галузі промисловості формують найбільші обсяги відходів, придатних для будівництва?
4. Які основні види відходів металургії і їх характеристики?
5. Чим відрізняються доменні шлаки від сталеплавильних та кольорових шлаків?
6. Які способи збагачення руд впливають на склад і властивості відходів?
7. Що таке шлами і які їхні види використовуються у будівництві?
8. Які види шлакових в'язучих матеріалів існують?
9. Від чого залежить гідравлічна активність шлакового скла?
10. Які активатори застосовують для підвищення активності шлаків?
11. Які види шлакових заповнювачів виділяють за об'ємною масою та крупністю?
12. Як отримують литий шлаковий щебінь і які його властивості?
13. Що таке шлакова пемза (термозит) і як вона застосовується у легких бетонах?
14. Які типи шлакових бетонів виділяють за щільністю та структурою?
15. Які технологічні прийоми покращують морозостійкість і міцність шлакових бетонів?

РОЗДІЛ 7

РЕЦИКЛІНГ ТА РЕСУРСОЗБЕРГАЮЧА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАСТИЧНИХ МАС

Одним з найбільш відчутних результатів антропогенної діяльності є утворення відходів, серед яких відходи полімерних продуктів займають особливе місце. Обсяг виробництва полімерних матеріалів сьогодні перевищив обсяг випуску чорних і кольорових металів і продовжує зростати на 5–6 % щорічно. Полімерні матеріали, що вийшли з експлуатації, погано розкладаються та забруднюють довкілля. Неконтрольоване спалювання полімерних відходів супроводжується викидами небезпечних речовин, що виділяються при горінні багатокomпонентних полімерів. Ставлення до полімерних відходів як до вторинної сировини дозволяє вирішити не лише екологічні, а й економічні та соціальні проблеми, пов'язані з їх утилізацією. Оскільки сфери та обсяги застосування полімерних матеріалів постійно розширюються, стає актуальним питання пошуку ефективних методів утилізації та переробки полімерних відходів.

Нині існують способи корисного використання вторинної полімерної сировини. При спалюванні відбувається безповоротна втрата цінної хімічної сировини та забруднення довкілля шкідливими речовинами димових газів. Перспективним способом утилізації є використання нового устаткування та сучасних способів фільтрації. Чисті полімерні відходи мають енергетичну цінність у середньому на 60 % вище, ніж у вугілля. Значне місце в утилізації вторинної полімерної сировини належить термічному розкладанню, що дозволяє перетворювати полімерні відходи у низькомолекулярні сполуки.

Важливе місце серед них займає піроліз, який дає змогу отримувати цінні хімічні продукти, такі як бензол, толуол, пропан, кумол та інші. Ще одним способом трансформації вторинної полімерної сировини є каталітичний термоліз, що передбачає використання нижчих температур і

дозволяє у деяких випадках отримувати мономери, придатні для повторної полімеризації.

В Україні найбільшого поширення набув метод механічного рециклінгу, у результаті якого утворюється гранулят, придатний для вторинного виробництва пластмас. Технологічний процес переробки включає сортування та ідентифікацію змішаних полімерних відходів, подрібнення, відмивання, сушіння та агломерацію або грануляцію, що підвищує однорідність і насипну густину вторинної сировини. Сортування здійснюється різними методами, зокрема флотацією, яка дозволяє розділяти суміші термопластів за гідрофільними властивостями. Подрібнення та відмивання забезпечують підготовку полімерної сировини до подальшого використання, а агломерація та грануляція покращують її якість та технологічні властивості.

Ефективна утилізація полімерних відходів потребує широкого впровадження селективного збору, законодавчого регулювання та стимулювання вторинного використання, обміну досвідом між країнами, а також проведення наукових досліджень для удосконалення існуючих та розробки нових ефективних технологій переробки.

За останні півстоліття річний обсяг виробництва полімерів та матеріалів на їх основі досяг майже 300 млн тонн. Широке використання полімерів і пластмас створює проблему утилізації відходів, що утворюються під час виробництва, зберігання та використання різноманітних виробів і матеріалів. В Україні щорічно накопичується близько 35 млн м³ твердих побутових відходів, які поховують на 770 полігонах загальною площею майже 3000 га, а частково спалюють на сміттєспалювальних заводах. Частка полімерів у цих відходах становить близько 6–7 %.

За принципом утворення вторинну полімерну сировину поділяють на відходи виробництва, відходи споживання та змішані відходи виробництва та споживання. Відходи споживання, у свою чергу, поділяють на виробничі

та побутові. У багатьох концепціях управління відходами виділяють п'ятиступеневу ієрархію поводження: запобігання виникненню відходів, повторне використання, фізична переробка, енергетична та хімічна переробка, безпечне розміщення або поховання. З огляду на заощадження матеріальних і енергетичних ресурсів, а також вирішення екологічних проблем, найбільш доцільним є третій шлях. Однією з відповідальних стадій фізичної переробки полімерних відходів є їх попередня обробка, що характеризується труднощами, пов'язаними з ідентифікацією, сортуванням та очищенням відходів. Тому вибір раціональної технології та обладнання для цієї стадії є актуальним завданням.

Поділ змішаних відходів термопластів проводять флотаційним методом, поділом у важких середовищах, аеросепарацією, електросепарацією, хімічними методами та методами глибокого охолодження. Найбільш поширеним є метод флотації, що дозволяє розділяти суміші поліетилену, поліпропілену, полістиролу та полівінілхлориду. Розподіл відбувається при додаванні у воду поверхнево-активних речовин, які вибірково змінюють гідрофільні властивості частинок. Чистота продуктів при цьому становить щонайменше 96 %.

Після сортування відходи подрібнюють у ножових дробарках мокрого або сухого подрібнення до отримання маси з частинками розміром 2–9 мм. Конструкція ванни включає кілька відділень: завантаження матеріалу, фрикційну шнекову секцію, відділення легких і масляних забруднень, секцію вивантаження придатного матеріалу та секції для донних забруднень. На першому етапі відбувається відділення важких частинок, таких як метали, пісок і важкі полімери, та легких забруднень, таких як пінопласт, дерево, олії та жири. Одні осідають на дні й видаляються гвинтовими конвеєрами, інші видаляються у спеціальних камерах потоком води. Після цього полімерна сировина надходить на інтенсивне миття в центрифугу.

До вологих методів розподілу відноситься також сортування за змочуваністю частинок, засноване на різній змочуваності поверхні. Частинки з гідрофобною поверхнею піднімаються на поверхню бульбашками повітря, а гідрофільні тонуть через збільшення питомої ваги. Наприклад, подрібнена тара з ПЕТФ під час флотації опускається в нижню частину сепаратора. Цей спосіб у широкій практиці застосовується рідко.

Процеси подрібнення полімерів і композицій на їх основі методом різання широко використовуються як у підготовчих виробництвах, так і у виробництві первинних та вторинних гранульованих продуктів. У підготовчих виробництвах застосовують ріжучі пристрої поступального руху для нарізання пресованих матеріалів, масивних заготовок, листів і плівок перед подальшим подрібненням, а також обертальні ножові дробарки. На рис. 7.1 показано конструкцію ножової дробарки.

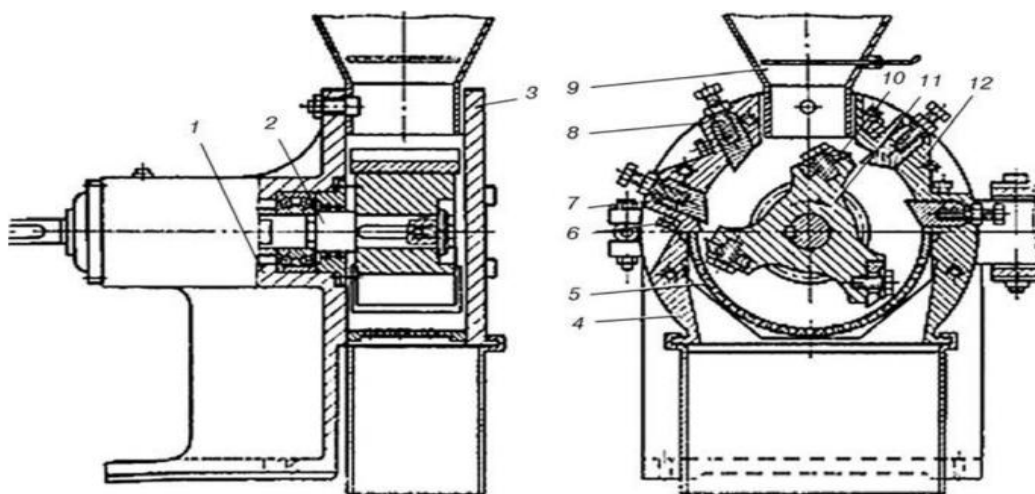


Рисунок 7.1. – Ножова дробарка:

- 1 – корпус; 2 – приводний вал; 3 – кришка; 4, 12 – щоки;
 5 – ґрати; 6, 8 – кріпильні гвинти; 7 – нерухомий ніж; 9 – бункер;
 10 – рухливий ніж; 11 – ротор

Подрібнювальний матеріал завантажується в бункер, звідки подається до приймальної камери ножової дробарки. Подрібнення здійснюється

головним чином за рахунок зрізу ножами: нерухомими, закріпленими в корпусі, та рухомими, встановленими на роторі, що обертається. Матеріал подрібнюється до необхідного розміру і проходить крізь сито, розташоване в нижній частині дробарки, після чого через вивідний патрубок надходить у приймальну ємність.

Форма та розміри завантажувального бункера визначаються характером матеріалу. Зазвичай завантаження здійснюють зверху, в окремих випадках – тангенціально до кола обертання ножів. Об'єм бункера вибирають достатньо великим для забезпечення безперервної роботи дробарки при періодичному завантаженні. Для відходів трубних виробництв застосовують похилі бункери, призначені для приймання довгих заготовок.

Для зменшення викиду подрібнюваного матеріалу, особливо при обробці пінополістиролу та відходів процесу роздувного формування, використовують пружні шторки або металеві дверцята; іноді бункер роблять зі зміною напрямку переміщення матеріалу на 90° . Число рухомих ножів зазвичай становить від 2 до 4. Подрібнений матеріал вивантажується через сітку, що займає 35–50 % циліндричної поверхні камери, з розмірами отворів від 1 до 15 мм залежно від типу дробарки. Недоліком ротаційних дробарок є високий рівень шуму — до 115 дБ.

Флотаційна сепарація ґрунтується на різниці густин твердих частинок та рідкого середовища. Як сепаруюче середовище використовують воду або водно-сольовий розчин. Знаючи густину рідини, можна точно задати точку сепарації. Для посилення розподілу суміші полімерів у воду вводять поверхнево-активні речовини (ПАР), які надають компонентам суміші певну гідрофільність або гідрофобність. Наприклад, для відділення ПВХ застосовують водні розчини поліоксіетиленсульфату, сульфонату двоосновного аліфатичного ефіру, ді-нафталінсульфонату або поліоксіетиленового ефіру та інші ПАР.

Однією з різновидів рідинного розподілу полімерних сумішей є послідовна обробка у ваннах, наповнених водними розчинами солей різної щільності – від натрію хлориду ($1,07 \text{ г/см}^3$) до хлориду кальцію ($1,38 \text{ г/см}^3$). При такому розподілі суміші полімерів відокремлюються залежно від їх щільності, причому розподіл ПВХ відбувається більш ефективно за наявності невеликої кількості неіоногенного поліоксіетилендодецилу.

У ємності для сепарації ПВХ, що має більшу густину, опускається на дно, а інші полімери спливають. Після розподілу компоненти збирають у різні ємності, віджимають або проціджують на ситах і сушать. Цей метод забезпечує приблизно 90 % ступінь виділення компонентів із суміші.

На рис. 7.2 наведено схему пристрою флотатора-відстійника, призначеного для очищення стічних вод; аналогічні установки використовуються й для сепарації різних фракцій відходів. В результаті флотації видаляються легші плавучі фракції – поліетилен і поліпропілен, з яких виготовляють кришки, прокладки, кільця, а також залишки етикеток, пил і інші домішки. Додаткове промивання здійснюється в обертовому барабані, після чого пластівці ПЕТФ сушать, повторно подрібнюють і упаковують.

Флотаційний розподіл застосовується також для переробки комбінованої упаковки, акумуляторних відходів з пластиковими корпусами, відходів виробництва та електричних кабелів. Різновидом установок для флотаційної сепарації є гідроциклони та сортуючі центрифуги. Гідроциклони-класифікатори ґрунтуються на розподілі твердих частинок за силою тяжіння та щільністю і зазвичай застосовуються для збагачення корисних копалин.

При розподілі пластиковмісних відходів у вертикально встановлений гідроциклон під тиском подається суміш води або сольового розчину з подрібненими частинками. Під дією відцентрових сил завантажений

матеріал обертається по колу, утворюючи два потоки – внутрішній і зовнішній

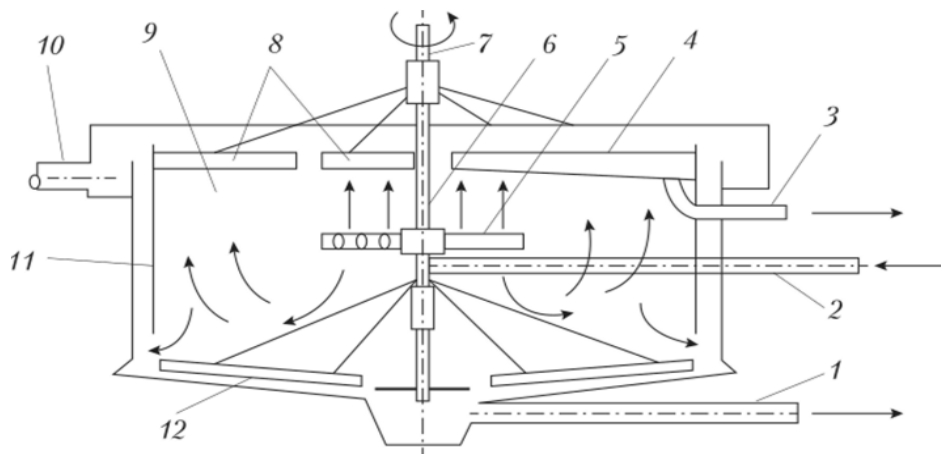


Рисунок 7.2 – Флотатор-відстійник:

- 1 – трубопровід для видалення осаду; 2 – подача води, насиченої повітрям; 3 – трубопровід для виходу піни; 4 – пінозбірна труба;
 5 – розподільний пристрій; 6 – зона флотації; 7 – привід;
 8 – скребок для видалення піни; 9 – зона відстоювання;
 10 – відведення очищеної води; 11 – напівзанурювальна кільцева перегородка; 12 – скребок для видалення осаду

Більш важкі частинки під дією відцентрового прискорення притискаються до стінок циклону і піднімаються вгору, ніби видавлюючись з об'єму циклону, тоді як частинки з меншою щільністю, ніж щільність середовища, залишаються у плаваючому стані, збираються в центральній частині циклону і відводяться через вертикальну трубку. Обов'язковою умовою ефективної сепарації є однаковий розмір частинок.

Найбільш ефективним способом флотаційної сепарації є центрифугування, призначене для розподілу рідких неоднорідних систем – суспензій, емульсій, шламів – на основі принципу розподілу твердих частинок за питомою масою під дією відцентрових сил. Окрім високої ефективності розподілу, що досягає 99 %, центрифуги дозволяють зменшити вміст залишкової вологи у розділених компонентах.

Розмір центрифуги значно менший за розмір установок для гравітаційного осадження (відстійників), оскільки відцентрові сили перевищують силу гравітації в багато разів. Найчастіше та найефективніше центрифуги застосовуються для зневоднення нафтових шламів, шламів стічних вод або для переробки нафтовмісних ґрунтів. Для підвищення ефективності сепарації до суміші, що розділяється, можуть додаватися флокулянти, що прискорюють осадження частинок.

Питання для самоконтролю за розділом 7

1. Чому полімерні відходи займають особливе місце серед антропогенних відходів?
2. Які негативні наслідки неконтрольованого спалювання полімерних відходів?
3. Які переваги отримує суспільство при використанні полімерних відходів як вторинної сировини?
4. Що таке піроліз і які цінні хімічні продукти можна отримати при його застосуванні?
5. Чим відрізняється каталітичний термоліз від звичайного термічного розкладу полімерів?
6. Яка енергетична цінність полімерних відходів у порівнянні з вугіллям?
7. Які основні етапи технологічного процесу механічного рециклінгу полімерних відходів?
8. Які методи сортування полімерних відходів використовуються в Україні, і який з них найпоширеніший?
9. Як працює ножова дробарка і які її основні конструктивні елементи?
10. Що таке флотаційна сепарація і як вона допомагає розділяти полімерні суміші?

РОЗДІЛ 8

РЕСУРСО - І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ОТРИМАННІ СИРОГО БЕНЗОЛУ З КОКСОВОГО ГАЗУ

8.1. Абсорбція бензольних вуглеводнів із коксового газу

Бензольні вуглеводні знаходяться в коксовому газі у вигляді парів, їх вилучення може проводитися різними методами. Проте у світі переважно застосовують абсорбцію поглинальними маслами при тиску, близькому до атмосферного. Десорбція бензольних вуглеводнів з насиченої олії проводиться продуванням великою або меншою кількістю пари з попередньо нагрітої олії.

Абсорбція бензольних вуглеводнів поглинальним маслом є фізичним процесом, під час якого відбувається взаємний масообмін між газовою та рідкою фазами у напрямку досягнення рівноваги. Стан рівноваги визначається законами Генрі та Рауля. Відповідно до цих законів, при постійній температурі концентрація бензолу в поглинальній олії пропорційна парціальному тиску бензолу в газовій фазі. Оскільки в апаратурі, що використовується для абсорбції, рівноважні концентрації ніколи не досягаються, їх прийнято розглядати як межу, до якої прагне процес у конкретних технологічних умовах (температура, тиск, якісні характеристики поглинальної олії тощо).

Існують діаграми рівноважних концентрацій бензольних вуглеводнів у коксовому газі та кам'яновугільному поглинальному маслі при різних температурах контакту. Діаграми розраховані для кам'яновугільної олії з молекулярною масою $M = 150$. Згідно з цими діаграмами, якщо в поглинальній олії, що подається на зрошення скрубєрів, міститься всього 1 % бензольних вуглеводнів, рівноважна концентрація останніх у коксовому газі складе: при 25 °C – 9 г/м³; при 35 °C – 12 г/м³; при 40 °C – 16 г/м³. Якщо ж на зрошення скрубєрів подавати масло з вмістом 2 г/м³ бензольних

вуглеводнів, рівноважна концентрація при 40 °С складе 32 г/м³. Така поглинальна олія практично не вилучить бензольні вуглеводні з коксового газу зі звичайним вмістом 33–36 г/м³.

Для забезпечення ступеня вилучення бензольних вуглеводнів до залишкового вмісту в очищеному газі до 3 г/м³ Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств (ПТЕ) передбачають: у поглинальній олії, що використовується для вилучення, має міститися не більше 0,3 % бензольних вуглеводнів (у закордонній практиці ці величини становлять 0,1–0,2 %); – середня температура коксового газу не повинна перевищувати 30 °С (у закордонній практиці частіше вказують 25–28 °С).

Особливо слід підкреслити, що дотримання наведених рівнів технологічних параметрів обов'язкове для всіх апаратів абсорбції бензольних вуглеводнів, незалежно від застосовуваних насадок, форсунок, тарілок тощо, оскільки саме ці параметри є визначальними. Застосовувані технологічні схеми, апаратурне оформлення та інші чинники є вторинними і, зрештою, визначають економіку процесу.

Для більшості коксохімічних підприємств України характерні підвищені втрати бензольних вуглеводнів зі зворотним газом, що перевищують зазначені гранично допустимі величини ПТЕ. Подібний стан є сумарним ефектом низки негативних факторів, серед яких: нестабільність витрат газу та поглинального масла; незадовільний температурний режим; низька якість оборотного поглинального масла; незадовільний стан основного технологічного устаткування; низька забезпеченість установок контрольно-вимірювальними приладами.

Багато коксохімічних виробництв ведуть роботи з модернізації установок і технологічного обладнання, адаптуючи їх до сучасних технологічних умов. При модернізації існуючих та будівництві нових установок повинні дотримуватися наведені технологічні параметри та враховувати заходи і технічні рішення, які успішно реалізовані як

передовими закордонними виробництвами, так і коксохімічними підприємствами України.

До основних удосконалень належать:

1. Більш якісна підготовка коксового газу від кислих компонентів (HCN , H_2S), нафталіну, ненасичених сполук тощо. Один із варіантів – розташування скрубєрів для вилучення бензольних вуглеводнів після сіроочищення, що значно збільшує термін служби кам'яновугільного поглинального масла та підвищує глибину вилучення бензольних вуглеводнів.

2. Промивання працюючого поглинального масла водою для зменшення його корозійної активності шляхом вимивання агресивних компонентів. Зниження вмісту NH_4CNS , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, NH_4CN та інших компонентів на 60–70 % знижує корозійну активність олії у 4–6 разів. Промиванню піддається частина масла, що відбирається з обороту, що економить ресурси за рахунок збільшення термінів служби олії та устаткування.

3. Стабілізація якості кам'яновугільного поглинального масла шляхом регенерації частини олії з метою видалення полімерів і мінімізації важкокиплячих компонентів (антрацену, карбазолу та ін.).

4. Поповнення циклу свіжим кам'яновугільним поглинальним маслом, що відповідає вимогам сучасних ТУ для масла марки «А» або його імпорتنих аналогів.

5. Оптимізація інтервалу температур газу та олії шляхом диференційованої подачі знебензоленої олії за ступенями абсорбції, що дозволяє знизити вміст бензольних вуглеводнів у зворотному газі та температуру масла на останньому ступені абсорбції без його обводнення. Дослідження показали, що запропонована технологічна схема знижує втрати бензольних вуглеводнів у середньому на 2–5 г/м³ і зменшує температуру олії на 7–8 °С.

6. Використання на стадії абсорбції скрубєрів з регулярними насадочними елементами, що поєднують високу пропускну здатність із підвищеною ефективністю.

7. Проектування нових апаратів із застосуванням високоефективних елементів внутрішньої структури (насадок, розподільників та перерозподільників газу й олії) для забезпечення необхідної ефективності процесу в одному апараті.

8. Більш чіткий поділ сирого бензолу та кам'яновугільного масла у дистиляційній колоні шляхом збільшення числа тарілок і дефлегмації з рефлюксом, із передбаченням можливості видалення нафталіну з оборотного масла.

9. Збільшення числа тарілок у дистиляційній колоні для стабілізації якості поглинального масла, зниження його витрати та зменшення подачі пари на десорбцію, що також скорочує витрату технічної води та обсяг стічних вод.

10. Для остаточного нагріву насиченого масла до 170–180 °С перед подачею в дистиляційну колону рекомендується застосування трубчастих печей із безполум'яними панельними пальниками.

11. Використання високоефективного теплообмінного обладнання для проведення теплообміну, дефлегмації та конденсації цільового продукту з мінімальними енергетичними витратами. Зокрема, застосування спіральних теплообмінників у середовищах із твердими включеннями значно підвищує коефіцієнти теплопередачі.

12. Розробка та впровадження автоматизованих систем управління процесом абсорбції та десорбції. Попри значні витрати на КВП, це економічно вигідно, дозволяє знизити витрати енергії та матеріалів на 12–15 %, скоротити обсяг свіжої води та стічних вод.

13. Використання частотного регулювання електроприводів для енергозбереження та точного контролю технологічних параметрів.

Зазначені удосконалення не завжди можуть застосовуватися одночасно, оскільки деякі з них частково виключають один одного. Проте при раціональному комбінуванні можливе значне зниження виробничих і енергетичних витрат на отримання сирого бензолу. Як приклад, можна розглянути технологічну схему абсорбції бензольних вуглеводнів і отримання сирого бензолу (рис. 8.1).

Рекомендована технологічна схема працює наступним чином: потік коксового газу I з температурою 25–28 °С надходить у нижню частину скрубера 1, розподіляється по перерізу апарата та взаємодіє на поверхні насадки із знебензоленим поглинальним маслом, яке подається у верхній частині і залишає апарат.

Насичена поглинальна олія насосом подається через теплообмінники 8 і 10 та трубчасту піч 2, де нагрівається до температури 170–180 °С. Пари та важкокиплячі фракції масла надходять далі на живильну тарілку вичерпної частини бензольної колони 4. Стікаючи вниз по тарілках цієї частини колони, масло контактує з паровою фазою, що піднімається вгору і складається з водяних парів, парів бензольних вуглеводнів та компонентів поглинального масла.

У результаті підйому парової фази вона збагачується летючими компонентами, а рідка фаза, що спускається вниз, містить компоненти поглинального масла. Для створення висхідного потоку парової фази в вичерпній частині дистиляційної колони частина олії після трубчастої печі подається у верхню частину регенераційної колони 3, а в нижню частину цієї колони подається перегріта пара III з трубчастої печі 2.

В результаті відбувається відгін легких фракцій олії у дистиляційну колонку 4 та наступний вивід кубового залишку («полімерів») IV.

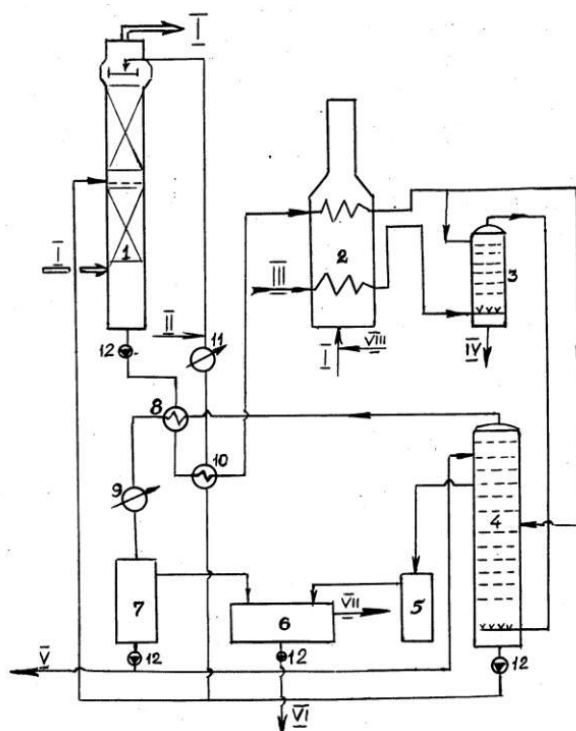


Рисунок 8.1 – Рекомендована схема абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу та отримання сирого бензолу:

- 1 – скруббер; 2 – трубчаста піч; 3 – колонка регенерації; 4 – дистиляційна колона;
 5 – сепаратор; 6 – відстійник нафталіну; 7 – сепаратор; 8 – теплообмінник;
 9 – конденсатор; 10 – теплообмінник «масло-масло»; 11 – холодильник;

Матеріальні потоки: I – коксовий газ, II – свіже масло, III – пар, IV – полімери,
 V – сирий бензол, VI – сепараторні води, VII – нафталін

Пари масла, що містять бензольні вуглеводні, а також водяні пари з вичерпної частини надходять у зміцнювальну частину дистиляційної колони 4, верхню тарілку якої подають сирий бензол у вигляді рефлюксу. Стікаючи вниз назустріч потоку парів олії, рефлюкс повністю випаровується за рахунок тепла висхідного потоку сирого бензолу та води, а також тепла конденсації парів олії, які практично повністю повертаються до вичерпної частини колони.

Пари бензольних вуглеводнів виводяться з верху зміцнювальної частини у конденсатор 8 і холодильник 9 для повної конденсації. Конденсат

водяної пари та бензольних вуглеводнів направляється в сепаратор 7 для відділення сирого бензолу від води. Частина сирого бензолу зі збірки сепаратора насосом подається у вигляді рефлюксу до дистиляційної колони, а інша частина виводиться з циклу у вигляді готового продукту (сирий бензол) V.

У зміцнювальній частині колони створюється певний градієнт температури та складу рідкої фази по висоті. На верхніх тарілках рідка фаза містить переважно низькокиплячі компоненти (сирий бензол), тоді як на нижніх тарілках рідка фаза складається переважно з висококиплячих компонентів (поглинальне масло). З середньої частини здійснюється відбір проміжної фракції, збагаченої нафталіном, у сепаратор 5. Це дозволяє ефективно знижувати вміст нафталіну в оборотному маслі.

До основних переваг запропонованих технологічних схем, забезпечених сучасними технологічними апаратами, належать:

- стабілізація кількісного складу отриманого сирого бензолу (коливання відгону до 180 °C не більше ± 1 % у межах 91–96 %);
- зниження втрат напору газу при абсорбції в скрубєрі, що може становити 30–50 % порівняно з існуючими схемами;
- зниження витрати пари на дистиляцію поглинального масла в 2–2,5 рази порівняно з чинними технологіями;
- зменшення обсягів стічних вод бензольного відділення, що підлягають утилізації.

8.2. Зниження витрат матеріалів та енергії при розробці сучасних абсорберів з регулярними насадками

В останні роки великий та обґрунтований практичний інтерес проявляється до скрубєрів з регулярними насадочними елементами, що пояснюється їх високою пропускною здатністю по газовій фазі, великою

питомою поверхнею контакту фаз у поєднанні з малим гідравлічним опором. Саме тому ці апарати зараз використовуються в промисловій практиці коксохімічних та нафтохімічних виробництв для уловлювання бензольних вуглеводнів, сірководню, кінцевого охолодження коксового газу та інших компонентів.

Разом із тим, практика експлуатації промислових апаратів з регулярними металевими насадками показала, що їх ефективність часто значно нижча, ніж при випробуваннях у дослідно-промислових умовах. Це пояснюється низкою причин, серед яких у першу чергу необхідно віднести значно більшу складність розподілу, ніж у базовому варіанті. І навіть якщо досягнуто відносно рівномірний первинний розподіл поглиначу, його далеко не завжди вдається зберегти по висоті апарату через місцеві забруднення, корозію та технологічні чинники, що впливають на поверхневий натяг, змочуваність тощо.

Для зниження впливу цього негативного явища існують два реальних напрямки. Перший, найбільш поширений і рекомендований теорією «масштабних переходів», пов'язаний із секціонуванням апарату по висоті за допомогою пристроїв для перерозподілу взаємодіючих фаз. Другий напрямок пов'язаний із використанням таких насадочних елементів, які здатні перерозподіляти взаємодіючі газ (пару) та рідину завдяки конструктивним особливостям.

Перший напрямок знайшов певне застосування та розвивається шляхом удосконалення пристроїв для перерозподілу взаємодіючих фаз, які мають цілу низку складних (а іноді суперечливих) критеріїв. До них належать:

- рівномірний розподіл зрошуючої рідини по поверхні насадочних елементів;
- мінімальне бризкоутворення;
- надійність у роботі;

- мінімальні втрати напору в зоні установки перерозподільвача;
- мінімальні витрати енергії на розподіл зрошуючої рідини;
- простота пристроїв, їх виготовлення та монтажу;
- сталість роботи у широкому діапазоні навантажень.

Незважаючи на наявність великої кількості найрізноманітніших конструкцій цих пристроїв і великий обсяг експериментальних та теоретичних досліджень, узагальнених у низці монографій, це питання залишається далеким від повного розв'язання.

Щодо насадочних апаратів, широкого розповсюдження набули конструкції форсуночного типу, у яких завдяки тонкому розпиленню зрошуючої рідини досягається повнота змочування верхнього шару насадки. Однак в умовах протитоку, навіть у застарілих «тихохідних» апаратах з дерев'яною хордовою насадкою та низькими швидкостями газу, спостерігався значний бризкоутворення, що є вкрай небажаним.

У коксохімічних виробництвах зараз використовуються установки з регулярними металевими насадками. Це установки зі скруберами з Z-подібними насадками та форсуночним розподілом поглинального масла. Характерною особливістю цих скрубєрів є застосування укорочених пакетів пласкопаралельної насадки як підтримуючих ґрат під насадку та для перерозподілу поглинального масла.

Інший варіант — установки зі скруберами з пласкопаралельною насадкою, тарільчатим розподілом і проміжним перерозподілом поглинального масла по висоті апарату. Як пристрій для первинного розподілу поглинального масла в них застосована перфорована тарілка, розроблена в УХІНі та поміщена в розширювальну камеру, а як проміжні перерозподільвачі — вихрові тарілки, аналогічні тим, що застосовуються Гипрококсом для різних скрубєрів. Умовно ці установки назовемо варіантом 1.

Надалі на коксохімічних підприємствах України з'явилися варіанти скрубєрів із пласкопаралельною насадкою та новими тарільчастими

пристроями для розподілу і перерозподілу газу та поглинального масла. Як пристрої для розбризкування поглинального масла, що перерозподіляється тарілкою, застосовані малонапірні розбризкувачі, рівномірно розташовані під тарілкою. Для посилення ефекту масопереносу передбачалося перемішування поглинального масла на тарілці з використанням енергії газового потоку (варіант 2).

В умовах реального виробництва, з характерною низькою якістю оборотного поглинального масла, що містить велику кількість твердих включень, апарати швидко набирали опір. Зокрема, при витраті коксового газу на установку близько 65 тис. $\text{м}^3/\text{год}$ і питомій витраті кам'яновугільного поглинального масла 2,2–2,3 $\text{л}/\text{м}^3$ газу опір одного скрубера досягав близько 4 кПа. Основне підвищення опору відбувалося у верхній розподільній тарілці і верхньому ярусі насадки, а також у нижньому ярусі насадки і первинному розподільнику газу.

Всі згадані установки спочатку розраховувалися на пропускну спроможність по газу близько 100 тис. $\text{м}^3/\text{год}$. У всіх установках застосовується тотожна кількість насадки, розміщеної у двох послідовно включених скруберах діаметром 3,6 м.

Фактичні показники ефективності розглянутих технічних установок із різними елементами внутрішньої структури наведені в табл. 8.1. З даних таблиці видно, що технічні установки з пласкопаралельною насадкою за варіантом 1 мають вищі показники продуктивності та ефективності вилучення бензольних вуглеводнів при допустимих втрат напорі. Установки з Z-подібними насадками і форсуночним розподілом поглинача дещо поступаються за ефективністю вилучення та сумарними втратами напорі.

Таблиця 8.1 – Основні показники роботи порівнюваних технологічних установок

Показники	Установки із скруберами		
	з пласкопаралельною насадкою		з Z-подібною насадкою
	Варіант 1	Варіант 2	
Пропускна спроможність по газу (факт.), тис. м ³ /год	100–110	50–70	80–90
Витрата кам'яновугільного поглинального масла, м ³ /год.	170–180	150–160	150–160
Температура масла, °С	30	30	30
Залишковий вміст бензольних вуглеводнів в очищеному газі, г/м ³	3	5–6	4,5
Втрати напору в одному скрубері, кПа	0,8–1	1,7–4*	1,2–1,4
*Максимальні значення набуті при забиванні вказаних в тексті елементів			

Обидва варіанти мають значні переваги перед другим варіантом із пласкопаралельною насадкою як за ефективністю вилучення бензольних вуглеводнів, так і за працездатністю установки в цілому.

Однією з основних причин нижчої ефективності установок зі скруберами з Z-подібними насадками є недостатньо надійна робота первинних розподільників масла (форсунок) та відсутність перерозподільювачів масла по висоті апаратів.

Навіть вдало виконані сучасні форсунок в оптимальному режимі розбризкування поглинального масла мають високу нерівномірність його розподілу по перетину апарату. При коливаннях витрати рідини ця нерівномірність збільшується.

Слід також відзначити ще один негативний фактор, властивий форсуночному розподілу поглинального масла – підвищене

бризкоутворення, яке зростає зі збільшенням швидкості газу. Для його локалізації в скруберах із Z-подібною насадкою передбачена установка двох бризковідбійників (жалюзійного та циклонного типу), виконаних разом із корпусом апарата.

Ці бризковідбійники, як буде показано нижче, є основною причиною підвищених втрат напору. При застосуванні правильно підібраних тарільчатих розподільників рівномірність розподілу поглинального масла практично не залежить від витрат у широкому діапазоні навантажень по рідині.

При установці тарільчастого розподільника в розширювальну камеру, де газ оминає тарілку по периферії, втрати напору в місці його встановлення зведені до мінімуму.

Для з'ясування причин істотної різниці в опорі установок із пласкопаралельною насадкою (варіант 1) та зі Z-подібною насадкою проведено відповідні дослідження, а також заміри під час пусконаладжувальних робіт (рис. 8.2).

Встановлено, що як загальний опір установок, так і опір окремих скруберів визначається втратами напору в допоміжних елементах. Так, для порівнюваних скруберів із пласкопаралельною насадкою при загальному опорі одного апарату близько 800 Па втрати напору в насадці складають лише 360–380 Па. Для скруберів із Z-подібною насадкою при загальному опорі 1200 Па втрати напору в насадці складають лише 470–490 Па.

Очевидно, що застосування менш енергоємних допоміжних пристроїв дозволяє знизити сумарні втрати напору в установці в цілому.

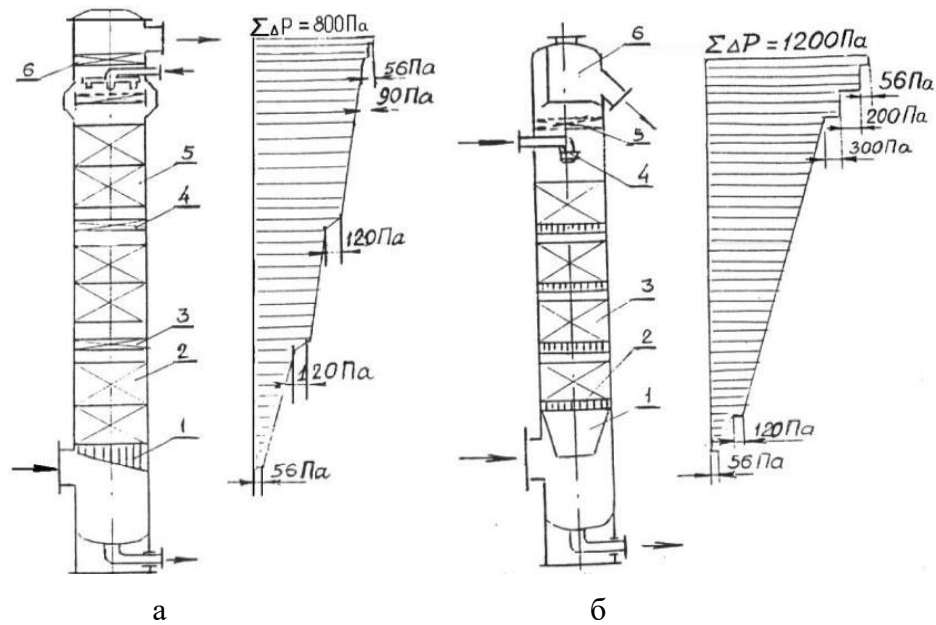


Рисунок 8.2 – Епюри втрат напору в скруберах
з регулярними листовими насадками

а – плоскопаралельною: 1 – розподільник газу; 2, 5 – блоки плоскопаралельної насадки;
3, 4 – перерозподільні тарілки; 6 – бризковідбійник; 7 – розподільна тарілка;
б – Z-подібною: 1 – конічний розподільник газу; 2 – підтримуючі ґрати; 3 – блок Z-
подібної насадки; 4 – форсунка; 5 – бризковідбійник; 6 – циклонний бризковідбійник

Так, зокрема, використання для первинного розподілу поглинального масла в скруберах із Z-подібною насадкою пристрою з розширювальною камерою дозволяє значно знизити втрати напору (на 500–560 Па). У свою чергу, для скруберів із плоскопаралельною насадкою доцільне скорочення перерозподільних пристроїв та їх заміна на менш енергоємні. Зокрема, як пристрої для перерозподілу поглинального масла можуть представляти інтерес вузли перерозподілу, аналогічні тим, що використовуються в скруберах із Z-подібною насадкою.

Ще більші можливості щодо зниження енергоємності порівнювальних технологічних установок надає розміщення необхідної поверхні насадки в одному апараті за рахунок зменшення кількості

пристроїв для входу і виходу газу. Так, зокрема, для установок із пласкопаралельною насадкою можливо зниження втрат напору на 40 %, для установок із Z-подібною насадкою – на 30 %.

Проте слід підкреслити, що застосування для цих цілей відомих насадок (пласкопаралельна, Z-подібна) призведе до непомірно високих апаратів ($H \geq 50$ м). Це ускладнить їх транспортування із заводів-виготівників, поточне обслуговування (ремонт, фарбування тощо), а також збільшить витрати на транспортування поглинача нагору апарату.

Тому для практичної реалізації запропонованих напрямків інтенсифікації необхідно застосовувати насадочні елементи, які поєднують характерні переваги пласкопаралельної та Z-подібної насадок: підвищену пропускну спроможність, малі гідравлічні втрати напору та високу ефективність.

Нашими дослідженнями показано, що для досягнення ступеня вилучення бензольних вуглеводнів $\sim 90\text{--}95\%$ в одному технологічному апараті практичний інтерес можуть становити об'ємні насадки, в яких усунено ряд недоліків, властивих різним варіантам пласкопаралельної та Z-подібної насадок.

Як один із таких пристроїв запропонована стільникова насадка (рис. 8.3). В результаті її розробки було досягнуто підвищення діапазону робочих швидкостей газу до 4–5 м/с за умови низьких втрат напору (до 80–100 Па на 1 м висоти). Крім того, стільникова насадка вигідно відрізняється простотою виготовлення.

Стільникова насадка має вертикальні квадратні канали, утворені низкою смуг листового матеріалу, встановлених на ребро та розташованих паралельно одна одній. На верхній кромці каналів виконані пази з постійним кроком, у які вставляються додаткові смуги листового матеріалу.

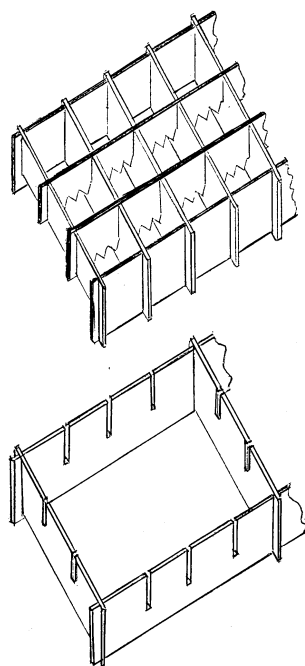


Рисунок 8.3 – Елемент регулярної стільникової насадки

Вказані особливості конструкції дозволяють: створити насадочний пакет, що поєднує малу металоємкість із високою міцністю; значно спростити (а відтак і здешевити) процес виготовлення насадки та використовувати матеріали, які не можуть бути застосовані для насадок типу «Стрейпак» (ліговані чавуни, деякі композитні матеріали тощо); виключити при виготовленні регулярної насадки спеціальне обладнання, яке забезпечує нанесення прорізів та подальше розтягування; значно знизити ймовірність засмічення регулярної насадки механічними домішками, що містяться в технічних рідинах; збільшити турбулізацію контактуючих газу та рідини та підвищити кратність оновлення поверхні регулярної насадки.

Конструкцію ілюструє рис. 8.3, де зображено регулярну стільникову насадку, що складається зі смуг листового матеріалу з виконаними на верхній кромці кожної смуги пазами з постійним кроком. Ширина пазів приблизно дорівнює товщині смуг. Під час монтажу смуги вкладаються на

ребро з постійним кроком таким чином, щоб пази на кожній смугі знаходилися на одних утворюючих.

У ці пази вставляються інші смуги, які в нижній частині можуть мати пилоподібні крапельниці, у тому числі розведені в різні боки.

Ресурсо- та енергозберігаючі технологічні схеми абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу та отримання сирого бензолу базуються на раціональному комбінуванні оптимально підбраного технологічного режиму та використанні на стадії абсорбції інтенсивних скрубєрів, оснащених сучасними високоефективними елементами внутрішньої структури (регулярними насадками, розподільниками та перерозподільниками взаємодіючих фаз).

Існує реальна можливість організації процесу абсорбції в одному технічному апараті великої одиничної потужності, що дозволяє знизити опір установки на 35–40 % та створює передумови для повної автоматизації процесу вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу.

Запропоновані технічні рішення можна застосовувати як при проектуванні нових бензольних відділень, так і при реконструкції діючих.

Питання для самоконтролю за розділом 8

1. Який метод абсорбції бензольних вуглеводнів у світі застосовується найчастіше?
2. Які закони визначають стан рівноваги при абсорбції бензольних вуглеводнів у поглинальному маслі?
3. Чому поглинальна олія з 2 г/м³ бензолу практично не вилучає бензольні вуглеводні з коксового газу зі звичайним вмістом 33–36 г/м³?
4. Які значення концентрації бензольних вуглеводнів у поглинальній олії та температури газу необхідні для досягнення залишкового вмісту бензолу 3 г/м³ у очищеному газі?

5. Які основні фактори призводять до перевищення гранично допустимих втрат бензольних вуглеводнів у коксохімічних підприємствах України?

6. Які основні заходи застосовуються для підвищення глибини вилучення бензольних вуглеводнів та продовження терміну служби поглинальної олії?

7. Які переваги забезпечує застосування сучасних скрубєрів із регулярними насадками порівняно із застарілими апаратами?

8. В чому полягає принцип роботи скрубєрів із пласкопаралельною та Z-подібною насадкою і які проблеми властиві кожному типу?

9. Які особливості конструкції стільникової насадки дозволяють підвищити ефективність масообміну та знизити втрати напору?

10. Які технічні рішення дозволяють одночасно підвищити ефективність вилучення бензольних вуглеводнів та знизити енергетичні витрати на установках абсорбції?

РОЗДІЛ 9

РЕСУРСО- Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОКСУ

Коксохімічне виробництво належить до енергоємних та сировиноємних галузей промисловості. Вартість сировини та матеріалів у виробництві коксу перевищує 90 %, тоді як витрати «по переділу» в 11 разів менші. Кокс є головним поліфункціональним цільовим продуктом коксохімії та основним найдорожчим енерговідновником у доменному процесі, де близько 88% загальної витрати палива припадає на кокс. Виконання коксом у доменній плавці кількох специфічних функцій робить його абсолютно незамінним, адже повна заміна коксу означає заміну доменного процесу іншим.

Щоб забезпечити в коксі необхідний комплекс унікальних властивостей, із загальних ресурсів кам'яного вугілля відбирають лише відносно рідкісне та важкодоступне вугілля. При цьому до його хімічного складу специфічних вимог не пред'являють. Переробка вугілля є енергоємною і технологічно складною, а часто й екологічно проблемною. Тому контроль за енергоспоживанням та витратами ресурсів по всьому технологічному ланцюжку і впровадження заходів з їх економії є надзвичайно актуальним.

Розглянемо під цим кутом кілька технологічних установок.

9.1. Установки сухого гасіння коксу (УСК)

У тепловому балансі коксової батареї кількість теплоти, що виноситься розжареним коксом, досягає 45–50 % від кількості теплоти, що надходить на обігрів печі. Для швидкого охолодження коксу та запобігання його вигорянню раніше широко застосовувалося мокре гасіння. При цьому фізична теплота коксу повністю втрачалася, а його якість погіршувалася через підвищення виходу дрібних фракцій внаслідок розтріскування.

Замість охолодження коксу водою використання сухого гасіння інертними газами з подальшим застосуванням газів для отримання пари дозволяє підвищити економічні показники коксового виробництва та досягти значної економії палива.

Метод сухого гасіння коксу відомий давно. Перша установка сухого гасіння коксу (УСК) у нашій країні працювала до 1941 р. на Керченському коксохімічному заводі. Проте загальноприйнятою практикою УСК стали лише у ХХІ столітті.

Установка (рис. 9.1) складається з гасильного бункера 1 місткістю 270 м³, котла багаторазової примусової циркуляції 3 КСТ-80 продуктивністю 25 т/год пари на параметри $P = 4$ МПа, $t_{п.п} = 400$ °С і димососа 4. Розжарений кокс із температурою 1000–1100 °С вивантажується з печі у коксоприймальний вагон, транспортується до скіпового підіймача 2 і завантажується у скіп. Підіймач подає кокс до завантажувального пристрою гасильного бункера, через який він надходить у верхню частину бункера, що виконує роль акумулятора гарячого коксу.

Місткість форкамери зазвичай становить 3–5 печей, а час перебування в ній – 40–60 хв. Вона служить для вирівнювання витрати коксу у часі, щоб у зону власне охолодження він надходив із приблизно постійною витратою. Це дозволяє відводити в котел газ-теплоносій із стабільною температурою та отримувати пару стабільних параметрів, що є однією з головних переваг УСК системи Гіпрококсу.

Кокс розвантажують через спеціальний розвантажувальний пристрій порціями по 20–30 кг. Через завантажений у бункер розжарений кокс знизу вгору продуваються інертні гази, які нагріваються до 800 °С і надходять у котел, де охолоджуються до 160 °С. Після охолодження гази за допомогою димососа нагнітаються в нижню частину бункера.

Для початкового приготування інертних газів достатньо заповнити гасильний бункер розжареним коксом і запустити димосос. Повітря, що

міститься в газовому тракті установки, спричиняє вигорання частини коксу, а утворені продукти згоряння надалі виконують роль інертного теплоносія.

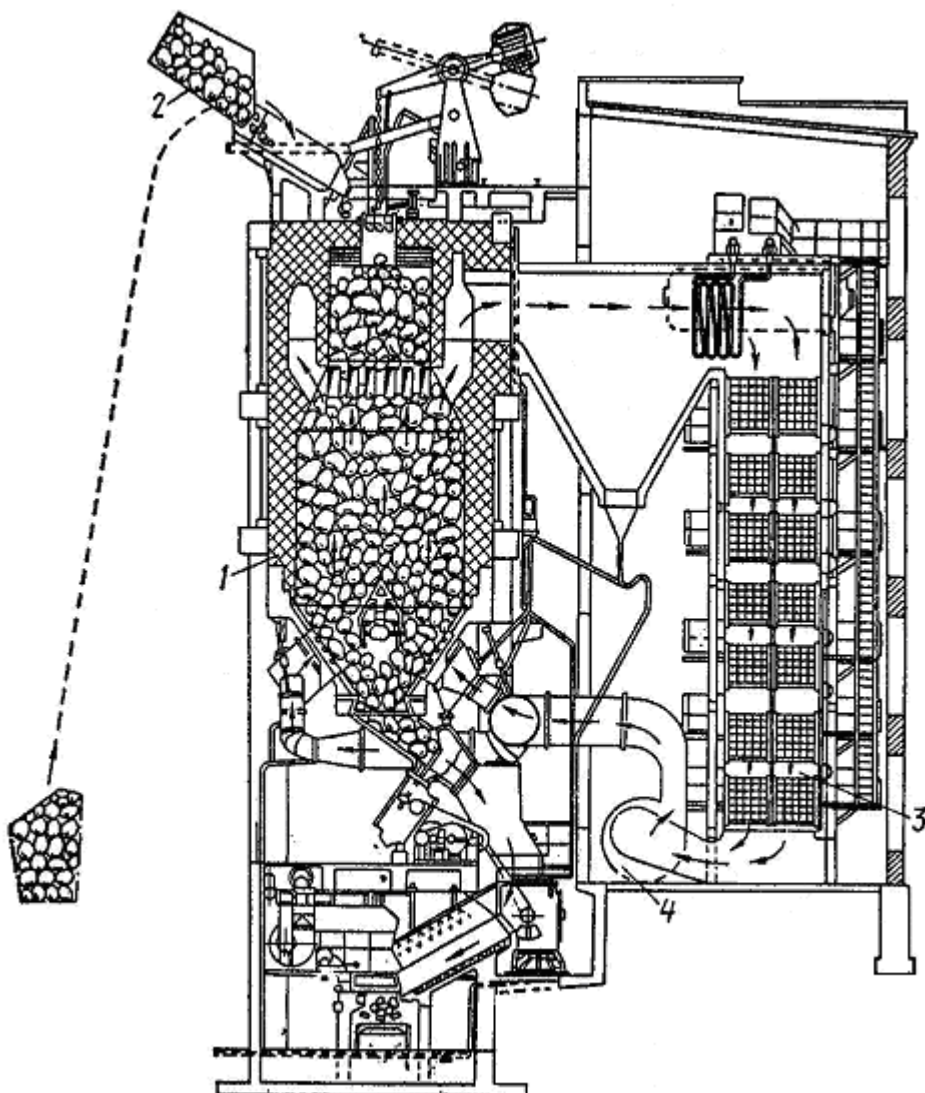


Рисунок 9.1 – Установка сухого гасіння коксу:

1 – гасильний бункер; 2 – скіповий підіймач;

3 – котел КСТ-80; 4 – димосос.

Щоб запобігти вигоранню коксу в процесі експлуатації, утворенню вибухонебезпечної суміші через підсос повітря та проникненню продуктів згоряння в навколишнє середовище, передбачені заходи для герметизації та безпосереднє з'єднання блоків: гасильний бункер – котел – димосос.

Установки сухого гасіння коксу системи Гіпрококсу мають продуктивність 70–90 т/год коксу та виробляють до 40 т пари на годину з температурою 450 °С і тиском 2,5–3,0 МПа.

Сухе гасіння коксу має переваги перед мокрим гасінням:

- покращення якості коксу: забезпечується вища твердість коксу та збільшується на 10–15 % вихід великих фракцій;
- підвищення теплоти згоряння: знижується вміст вологи до 1–2 % порівняно з 5–10 % при мокрому гасінні;
- енергетична економія: економиться близько 40 кг умовного палива на 1 т коксу завдяки отриманню 400 кг пари високих енергетичних параметрів;
- зниження собівартості пари: собівартість 1 т пари, отриманої на установці сухого гасіння коксу, у 2,5–3 рази нижча за собівартість пари, виробленої звичайними котельнями коксохімічних заводів; окупність установки – приблизно 2,5 року.

9.2. Котли-утилізатори в установках сухого гасіння коксу

На сьогодні розроблена ефективна конструкція котлів-утилізаторів (КУ) для охолодження газів, що надходять із камери сухого гасіння. Новий КУ КСТК-35/40-100 має баштове компонування з верхнім підведенням газу (рис. 9.2).

Стіни газоходу складаються з газощільних панелей, виготовлених із труб діаметром 57 мм, товщиною стінки 5 мм і кроком 100 мм, які включені в контур природної циркуляції. Усередині газоходу розташовані конвективні змієвикові поверхні нагріву, підключені до контуру багаторазової примусової циркуляції (БПЦ). Конвективні поверхні виготовлені з труб діаметром 28 мм і товщиною стінки 3 мм.

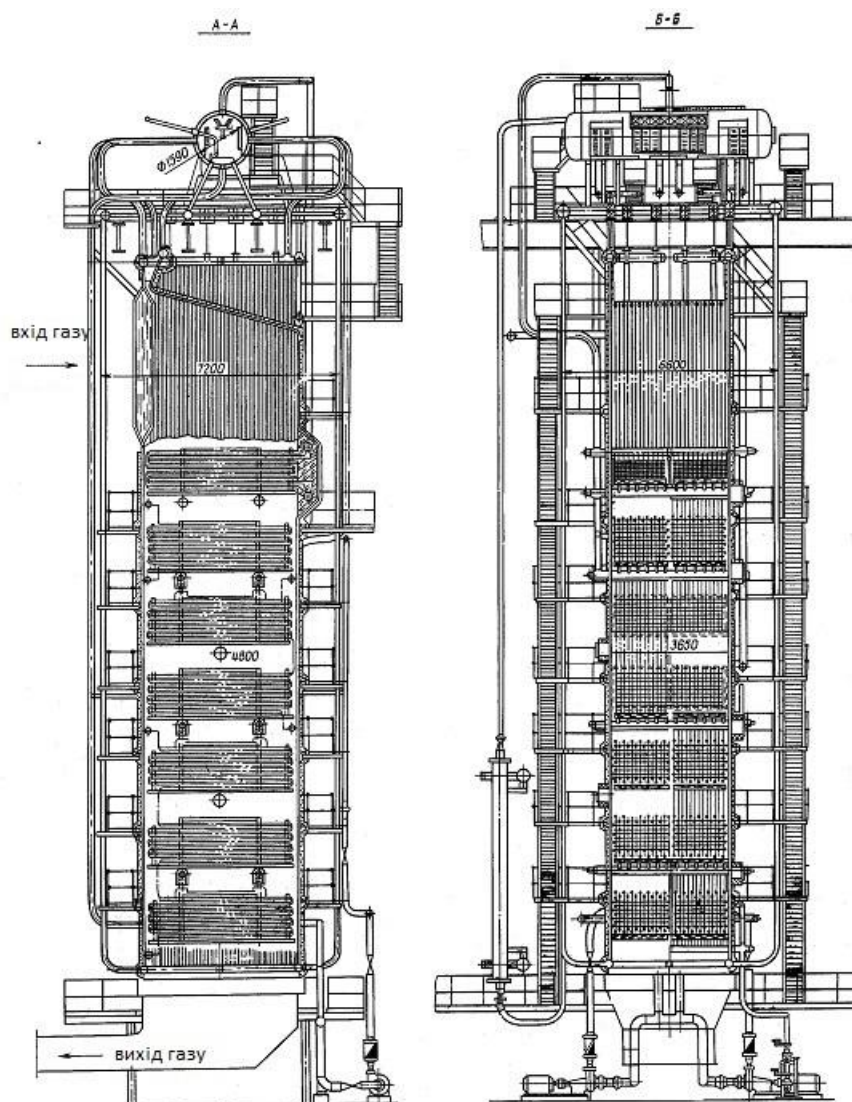


Рисунок 9.2 – Котел-утилізатор КСТК-35/40-100

Для регулювання температури пари в котлі передбачений пароохолоджувач, що працює на котловій воді, та встановлений «у розсічку» між ступенями. Пароперегрівач розташовується в зоні високих температур і має дві ступені, розташовані паралельно за ходом газів: І (вхідна) ступінь – виконана з труб діаметром 28 мм, товщиною стінки 3 мм; ІІ (вихідна) ступінь – з труб діаметром 28 мм, товщиною стінки 3,5 мм.

Пара з І ступені спрямовується в пароохолоджувач, а після нього – у ІІ ступінь. Випарна поверхня розташована за пароперегрівачем і складається з шести блоків, попарно розташованих у трьох ярусах. За

випарною поверхнею знаходиться водяний економайзер з висхідним протиточним рухом води. Пакети пароперегрівача, випарної поверхні та водяного економайзера у газоході закріплені на опорних охолоджуваних балках, включених у контур багаторазової примусової циркуляції.

Технічна характеристика КУ: паропродуктивність – 32,4 т/год; тиск перегрітої пари – 4 МПа; температура перегрітої пари – 440 °С; температура газів: на вході в котел – 800 °С, на виході – 170 °С; витрата газів через котел – 100 000 м³/год.

Отже, теплота розпеченого коксу є цінним високо потенційним вторинним енергетичним ресурсом значного обсягу. Наприклад, для підприємства чорної металургії з річним виробництвом 10 млн т сталі виробництво коксу сягає 5 млн т, при цьому весь обсяг коксу вивантажується з печей при температурі понад 1000 °С.

При сухому гасінні коксу ця теплота використовується для виробництва водяної пари, що енергетично виправдано. Технологічна пара необхідна для роботи хімічних цехів коксохімічного підприємства та забезпечує роботу ТЕЦ.

Однак орієнтація виключно на отримання водяної пари не є оптимальною. Існують різні способи ефективного використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) коксового виробництва – коксового газу та високотемпературної теплоти гарячого коксу.

Варіанти ефективного використання ВЕР: використання коксового газу для нагрівання залізорудних окатишів до 800 °С із гарячим коксом як теплоносієм; отримання інтенсифікуючих добавок для агломерату шляхом двостадійного гасіння коксу: перша стадія – гасіння до температури нижче займання коксу (800–850 °С) твердим споживачем теплоти (вапняком або іншим карбонатом); друга стадія – охолодження інертним холодним газом.

Розділення випаленого вапна та охолодженого коксу можливе через різницю фракційного складу. Ключовим параметром є кінцева температура

розкладу вапняку – близько 900 °С, що залежить від кількості доданого вапняку та початкової температури коксу.

Температурно-тепловий графік випалу характеризується широкою ізотермічною зоною, що підвищує енергоємність процесу. Кількість доданого вапняку не повинна знизити температуру суміші нижче 900 °С для забезпечення якісного продукту.

Розрахунки теплового балансу показують, що декарбонізація вапна здійснюється в температурному діапазоні 900–1200 °С. Розрахункові маси наведені в табл. 9.1.

Таким чином, випал холодного вапняку у суміші з розжареним коксом може забезпечувати виробництво від 4 до 122 кг вапна на кожну тонну загашеного коксу, залежно від початкової температури коксу. З урахуванням витрат енергії на випал вапна на автономних заводах, економія енергії може становити до 27 кг умовного палива або до 21 м³ природного газу (ПГ) на тонну коксу. Річна економія природного газу може досягати 13 млн м³.

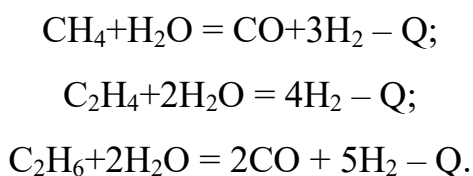
Таблиця 9.1- Матеріальний баланс випалу вапняку в УСГК

T, °C	900	1000	1100	1200
Ентальпія коксу, кДж/кг	1 677,39	1 764,95	2 059,5	2 253,69
Маса випалюваного вапняку, кг	0	7,1	14,5	21,8
Маса випалюваного вапна, кг	0	3,98	8,12	12,2
Економія, кг умовного палива/т	0	8,83	18,03	27,14
Економія, м ³ природного газу/т	0	7,06	14,42	21,72
Економія природного газу, млн. м ³ /рік	0	1,404	5,855	13,270

Енергозберігаючий ефект цього заходу може бути значно підвищений за рахунок використання попередньо підігрітого вапняку, що стає можливим завдяки самому процесу спільного охолодження.

9.3. Отримання відновлювального газу на поверхні розпеченого коксу в УСГК

В основу реалізації ідеї термічної переробки вуглеводнів коксового газу покладено хімічні реакції їх парової конверсії:



В основу раціонального використання вторинних сировинних та енергетичних джерел у коксохімічній промисловості для отримання відновлювальних газів покладено такі положення термохімічних перетворень.

Перший принцип полягає в цілеспрямованій термохімічній переробці вуглеводнів зворотного коксового газу з метою отримання відновлювального газу, що містить 92–95 % активних компонентів CO та H₂, із повним використанням елементного складу газу. Це забезпечує максимальне використання органічної маси коксівного вугілля, залучаючи до виробництва відновників для доменного процесу 15–17 % (вагових) перероблюваного вугілля. Реалізація цієї ідеї передбачає виділення близько 70 % наявних активних відновників із коксового газу та їх глибоке термохімічне перетворення для отримання додаткових кількостей CO і H₂.

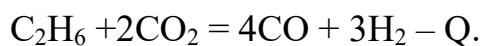
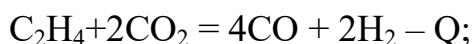
Другий принцип передбачає глибоку спільну термохімічну переробку вуглеводнів коксового газу та діоксиду вуглецю колошникового газу з метою повного використання елементного складу обох газів. Це дозволяє багаторазово використовувати хімічні елементи органічної маси коксівного вугілля у складі газоподібних відновників.

Склад колошникового газу сучасних доменних печей, % об.: CO₂ – 13,6–6,9; CO – 25,3–31,2; CH₄ – 0,19; H₂ – 4,09–8,40; N₂ – 56,7–43,5. Нині цей

газ спалюється як низькосортне енергетичне паливо через високий вміст баластових газів (понад 70 % CO_2 і N_2), що призводить до втрати значної частини вуглецю коксу та його викиду в атмосферу у вигляді CO_2 .

При застосуванні відновлювального газу доменна піч може працювати на холодному технологічному кисні замість повітряного дуття. У цьому випадку колошниковий газ має інший склад, % об.: CO_2 – 35,0; H_2 – 20,0; CO – 40,0; N_2 – 5,0. Тобто активні відновлювальні компоненти ($\text{CO} + \text{H}_2$) складають ≥ 60 %, що дозволяє умовно використовувати газ повторно у доменному процесі.

Реалізація другого принципу передбачає не виділення CO_2 із колошникового газу, а спільну глибоку термохімічну переробку CO_2 , колошникового газу та вуглеводнів коксового газу з утворенням додаткових кількостей CO та H_2 за такими хімічними реакціями:



При цьому використовується 60–70 % обсягів як коксового, так і колошникового газів, що представляють готові відновлювальні компоненти CO та H_2 .

Вирішення цієї складної проблеми відкриває можливість багаторазового використання основних хімічних елементів природних ресурсів органічної маси вугілля, які утворюють відновлювальні гази: H , C , O . Кінцевою метою реалізації цього принципу є створення інтегрованого комплексу в рамках коксового та доменного виробництва з отримання та використання енерговідновлювачів у замкнутому рециркуляційному циклі.

Принциповою особливістю нових методів отримання відновлювальних газів у коксохімічній промисловості є здійснення

зазначених хімічних реакцій на поверхні розпеченого коксу, тобто з використанням вторинних ресурсів тепла коксових печей. Це дозволяє значно знизити енерговитрати на конверсію.

Використання тепла розпеченого коксу повністю відповідає ендотермічному характеру процесів глибокого перетворення вуглеводнів коксового газу до CO та H_2 за зазначеними реакціями. Цей принцип ґрунтується на наявності значних вторинних ресурсів теплової енергії у вигляді тепла розпеченого коксу. Тепловміст однієї тонни валового коксу, що виходить із коксових печей, досягає 1,457 тис. МДж.

Галузеві ресурси цього тепла становлять близько 4 млн т умовного палива на рік, що еквівалентно 3,5 млрд nm^3 природного газу на рік. Використання високопотенційної частини теплової енергії розпеченого коксу для ендотермічних реакцій конверсії вуглеводнів коксового газу суттєво підвищує загальну теплотворну здатність відновлювальних газів. Це фактично означає перетворення вторинних ресурсів фізичного тепла розпеченого коксу на хімічну енергію відновлювальних газів для подальшого використання у реакціях доменного процесу.

Матеріальний баланс сучасної УСГК по відновлювальному газу (за даними Гіпрококсу) наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.2 – Матеріальний баланс сучасної УСГК по відновлювальному газу

Показник	Одиниці виміру	1 камера УСГК	3 камери УСГК
Кількість сухого валового коксу	т/год	80,0	148,0
Коксовий газ на конверсію	тис. nm^3 /год	29,2	54,0
Коксовий газ на підігрів	тис. nm^3 /год	2,0	3,7
Кількість отриманого відновлювального газу	тис. nm^3 /год	54,7	101,3
Кількість отриманої водяної пари	т/год	16,0	29,7

Удосконалена технологічна схема виробництва синтез-газів із суміші коксового газу та водяної пари наведена на рис. 9.3.

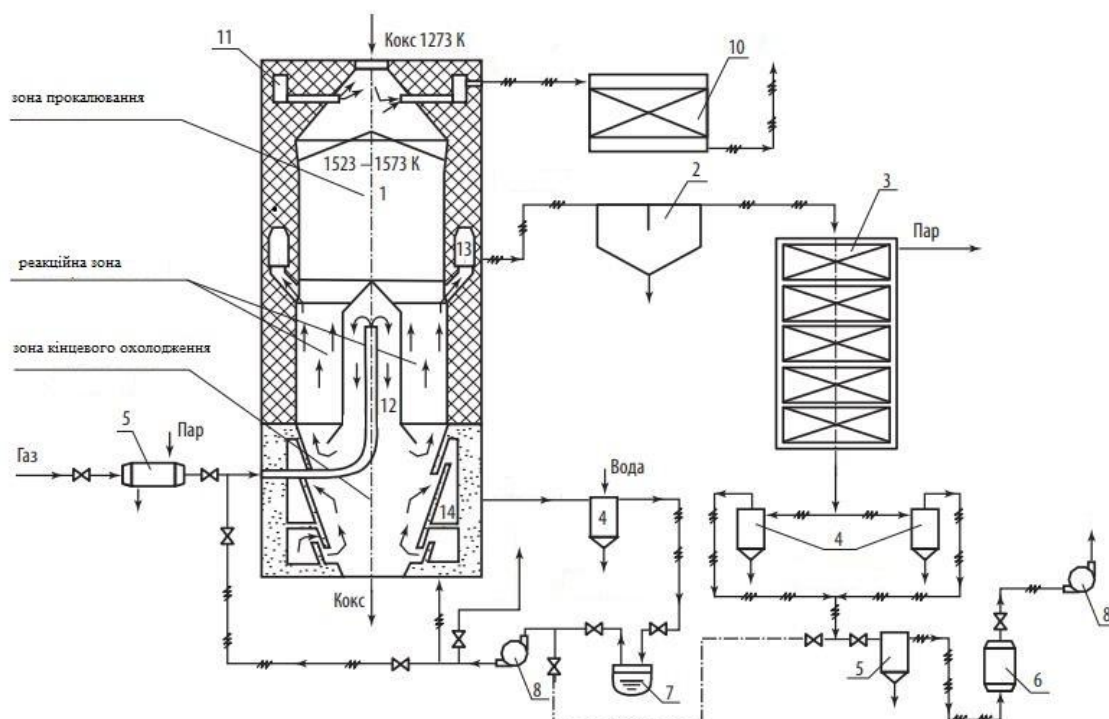


Рисунок 9.3 – Технологічна схема установки

отримання відновлювального газу:

- 1 – камера гасіння; 2 – бункер-осаджувач; 3 – котел-утилізатор; 4 – циклони;
 5 – електрофільтр; 6 – теплообмінник; 7 – ємність; 8 – насоси; 9 – газопідігрівач;
 10 – регенератор; 11, 13, 14 – кільцеві канали; 12 – газохід-дистриб'ютор

Розпечений до 1263–1373 К кокс із коксових печей подають у верхню частину камери сухого гасіння 1, де його нагрівають до 1523–1573 К шляхом спалювання над шаром коксу колошникового газу у струмені повітря, нагрітого в регенераторі 10 до 1473 К. За рахунок променистого теплообміну кокс нагрівається, а продукти горіння охолоджуються і надходять у регенератор 10, де їхня температура знижується від 1573 до 773 К, після чого вони через скидну трубу виводяться в атмосферу.

Необхідне для спалювання газу повітря спочатку подають у регенератор 10, де воно нагрівається до 1473 К завдяки акумульованому теплу насадки, а потім по кільцевому каналу 11 подають у підсводовий простір камери гасіння 1.

Регенератор 10 розділений на дві частини: одна працює на низхідному потоці, приймаючи продукти горіння та нагріваючи насадку, інша – на висхідному потоці, приймаючи повітря та охолоджуючи насадку. Через кожні 30 хвилин потоки газу міняються місцями. Нагрітий до 1473–1573 К кокс безперервно опускається в середню реакційну зону камери 1, а знизу протитечією по газоходу 12 подають нагрітий у газопідігрівачі 9 до 353–363 К коксовий газ.

Необхідна для конверсії вуглеводнів водяна пара отримується шляхом випарного охолодження циркулюючої водяної пари. Охолоджена до 403–424 К пара знову проходить зону кінцевого охолодження коксу та нагрівається до 573–593 К. Невелика частина цієї пари змішується з коксовим газом і проходить через шар коксу в середню частину реакційної камери 1. Газова суміш спочатку нагрівається, охолоджуючи кокс до 703–723 К, а потім нагріті вуглеводні ендотермічно взаємодіють з водою та діоксидом вуглецю, що містяться в газовій суміші, перетворюючись на корисні компоненти CO та H_2 , інтенсивно охолоджуючи кокс від 1472–1573 К до нижчих температур.

Нагрітий у реакційній частині камери до 1173–1273 К синтез-газ по кільцевому каналу 13 відводять спочатку в пилоосаджувальний бункер 2, а потім у котел-утилізатор 3, де його температура знижується до 443–353 К. Далі газ проходить через електрофільтр 5 та газовий зрошувальний холодильник 6, де охолоджується до 308–313 К. Охолоджений до 308–313 К відновлювальний (синтез-) газ газовим нагнітачем 8 подається споживачеві.

Охолоджений у реакційній частині камери до 703–723 К кокс безперервно надходить у нижню частину камери гасіння 1 (зону кінцевого охолодження), а знизу протитечією подається охолоджена до 400–423 К циркулююча водяна пара.

Кокс за рахунок конвективного теплообміну охолоджується від 703–723 К до 473–493 К і вивантажується з нижньої частини камери гасіння. Нагріта до 573–593 К циркулююча водяна пара по кільцевому каналу 14 виводиться з нижньої частини камери гасіння 1, проходить спочатку пилоосаджувальний бункер 4, а потім за рахунок випаровування води, що подається на охолодження, охолоджується від 573–593 К до 403–423 К і за допомогою нагнітача 8 знову повертається до зони кінцевого охолодження коксу. Частина цієї пари подається на нагрівання коксового газу в газопідігрівачі 9.

При конверсії вуглеводнів коксового газу колошниковим газом нагрівання вихідної газової суміші до 573–593 К здійснюється в регенераторі (замість парового газопідігрівача трубчастого типу встановлюють регенератор). Насадку регенератора нагрівають шляхом спалювання колошникового газу в підсводовому просторі регенератора.

У реакційній зоні здійснюється конверсія вуглеводнів коксового газу водяною парою. Конверсія вуглеводнів проводиться при співвідношенні $\alpha_{\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4} = 1,1$ у вихідній парогазовій суміші. Температура коксу на вході – 1523 К, на виході – 673 К. Температура коксового газу на вході – 353 К, водяної пари – 573 К. Температура синтез-газу на виході – 1173 К.

Питома витрата водяної пари на конверсію становить 0,32 нм³/нм³ коксового газу. Тепловий ефект ендотермічної реакції конверсії вуглеводнів коксового газу водяною парою дорівнює 565 ккал/нм³ коксового газу.

Склад виробленого синтез-газу, % об.: CH₄ – 1,42; CO₂ – 1,38; H₂ – 74,64; H₂O – 2,16; CO – 17,84; N₂ – 2,56; $\Sigma(\text{CO} + \text{H}_2) = 92,48$ %. Питоме

вироблення енергетичної пари ($P = 3,9$ МПа, $T = 713$ К) становить 210 кг/т обробленого коксу.

Ефективність роботи УСТК-ВГ визначається сумарною ефективністю трьох прогресивних напрямів використання: відновлювального газу в доменному виробництві, що дозволяє економити товарний кокс; товарної пари; металургійного коксу підвищеної якості, одержуваного за рахунок сухого гасіння та прокалювання до 1523 К.

При використанні в доменному виробництві відновлювального газу, отриманого на базі коксового газу та тепла розпеченого коксу, загальні експлуатаційні витрати на 1 т чавуну зменшуються більш ніж утричі порівняно з витратами при вдуванні природного газу та вдвічі порівняно з неконвертованим зворотним коксовим газом.

Таким чином, по-перше, орієнтація розвитку коксохімічної промисловості на розширення виробництва хімічних продуктів коксування є безперспективною, оскільки не відповідає завданням чорної металургії та обмежує можливості виробництва для неї додаткових обсягів енерговідновлювачів. Відволікання капіталовкладень на продукцію, не властиву галузі, завжди завдає шкоди оновленню основних фондів коксового виробництва та необґрунтовано подовжує термін служби коксових батарей. Традиційно сформована та технологічно немінуча відокремленість хімічного крила коксохімічного виробництва призводить до його відставання від сучасних масштабних загальногалузових технологій у нафтовій та нафтохімічній промисловості.

По-друге, переробка зворотного коксового газу на енерговідновник для доменного процесу є високоефективним напрямком розвитку коксохімічної промисловості. З цього погляду основним завданням коксохімічного виробництва є отримання доменного коксу та конверсія коксового газу для використання його як відновника у доменному процесі.

Для діючих коксохімічних підприємств, розташованих далеко від доменного виробництва, одним із економічно вигідних способів використання надлишкових ресурсів коксового газу є виробництво пари та електроенергії в котлах-утилізаторах із турбогенераторною станцією.

Питання для самоконтролю за розділом 9

1. Чому коксохімічне виробництво відноситься до енергоємних галузей промисловості?
2. Яка частка палива доменної печі припадає на кокс?
3. Чому повна заміна коксу в доменному процесі неможлива?
4. У чому полягає принцип роботи установки сухого гасіння коксу (УСК)?
5. Назвіть основні переваги сухого гасіння коксу порівняно з мокрим гасінням.
6. Який об'єм пари виробляє УСК продуктивністю 70–90 т/год коксу?
7. Яка роль котлів-утилізаторів у системі сухого гасіння коксу?
8. Як можна додатково використовувати тепло гарячого коксу окрім виробництва пари?
9. Які хімічні реакції лежать в основі отримання відновлювального газу з коксового газу?
10. Як впливає використання відновлювального газу на витрати коксу та енергію в доменному виробництві?

РОЗДІЛ 10

РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАФТОПЕРЕРОБЦІ

10.1. Сучасні методи енергозбереження в процесах нафтопереробки

Нафтопереробна промисловість визначила напрям розвитку, що передбачає глибоку переробку нафти та збільшення виходу світлих нафтопродуктів, а також підвищення вимог до якості моторних масел. Усі ці фактори призводять до значного ускладнення технологічних схем і різкого зростання витрат на переробку.

Зменшення енергетичних витрат є однією з найактуальніших проблем, а її вирішення пов'язане з модернізацією обладнання та інтеграцією теплових потоків за допомогою pinch-аналізу. Також становить інтерес упровадження сучасних високотехнологічних рішень, таких як абсорбційний тепловий інвертор (АНІ), компресорний тепловий насос і теплові труби, які знайшли широке застосування в ядерній та багатьох інших галузях промисловості.

Аналіз схеми на рис. 10.1 показав, що сумарні енерговитрати на переробку нафти досягають 15–17% від видобутої нафти (рис. 10.2). Це означає не лише величезні матеріальні витрати, а й значний обсяг викидів в атмосферу.

Первинна установка переробки нафти є дуже енергоємною через значні обсяги перероблюваної сировини. За нею слідує установки гідроочищення та риформінгу, а потім – каталітичного крекінгу й гідрокрекінгу. Відмінною особливістю цих процесів є порівняно низькі температури їх проведення (приблизно 423–473 K). Сировина зазвичай нагрівається водяною парою або високотемпературним теплоносієм, який попередньо підігрівається в печі. Низька температура вихідних продуктів не

дає змоги досягти високого рівня рекуперації тепла. Питомі енерговитрати становлять 70–100 кг палива на 1000 кг перероблюваної сировини.

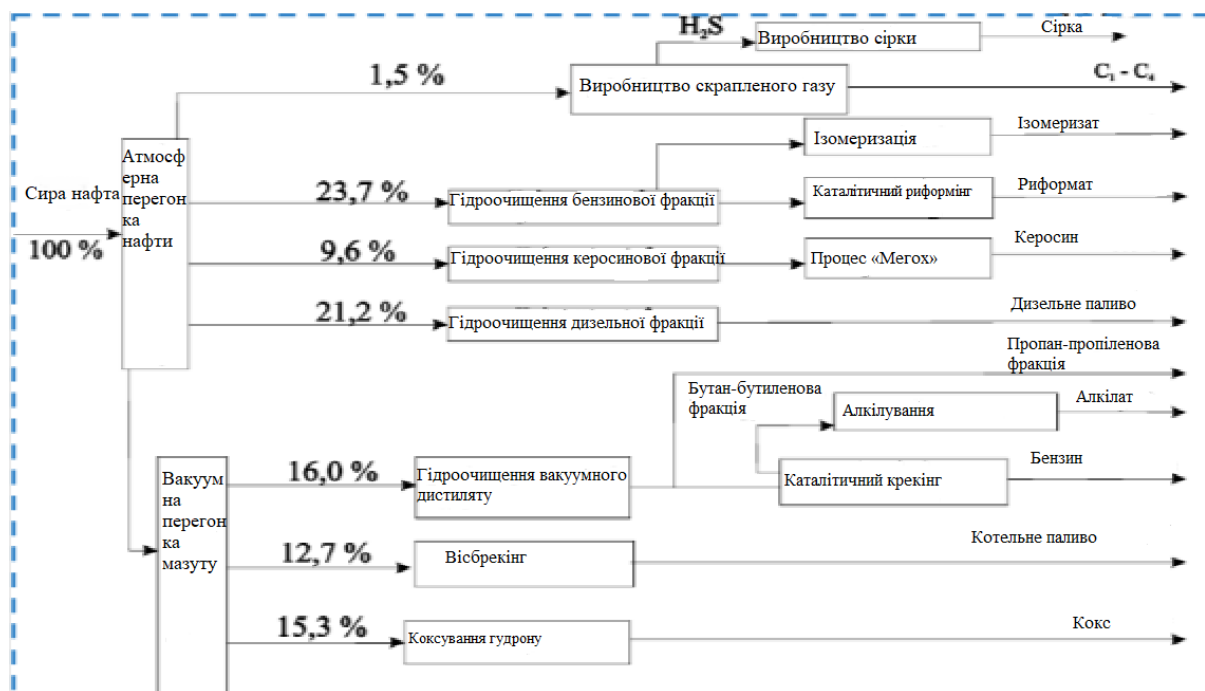


Рисунок 10.1 – Типова структура переробки нафти за паливною схемою

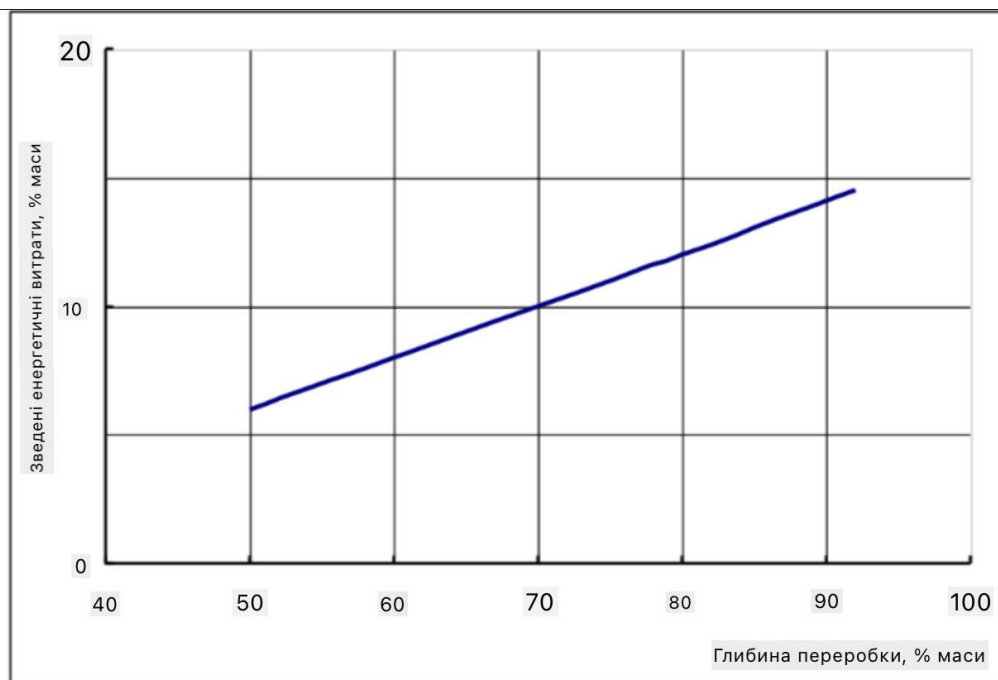


Рисунок 10.2 – Сумарні енерговитрати на переробку нафти

Одними з найперспективніших високотехнологічних рішень є абсорбційний тепловий інвертор (АТІ), компресорний тепловий насос і теплові труби, як уже зазначалося раніше.

АТІ має такі переваги: можливість одночасного функціонування в режимах охолодження та нагріву, при цьому вторинні енергетичні ресурси можуть використовуватися як джерела енергії. До таких вторинних ресурсів належать водяна пара під тиском 0,15–0,17 МПа, гаряча вода з температурою близько 360–370 К тощо.

Найпоширенішими серед АТІ є абсорбційні холодильні машини на основі бромистого літію (АБХМ). Витрати на виробництво холоду в таких машинах у 2–3 рази нижчі, ніж у компресійних холодильних установках. Використання АБХМ дає змогу знизити енергоспоживання, а капітальні витрати окуповуються менш ніж за два роки.

Вітчизняні та зарубіжні виробники пропонують широкий асортимент гвинтових компресорів для стиснення вуглеводневих газів, зокрема нафтового та факельних газів. Гвинтові компресори не забруднюються, оскільки стиснене середовище виносить забруднення з робочої зони.

Тепловий насос – це пристрій, здатний передавати значну кількість енергії за низького температурного градієнта. Він має герметичну конструкцію, частково заповнену рідким теплоносієм.

У зоні нагрівання рідкий теплоносій випаровується з поглинанням тепла. Переміщення пари із зони випаровування в зону конденсації відбувається внаслідок градієнта тиску насиченої пари в цих зонах. Рідина повертається в зону випаровування через капілярну структуру (фільтр), розташовану всередині нагрівальної труби, переважно на її стінках, завдяки дії сили тяжіння або градієнта капілярного тиску.

Ефективна теплопровідність теплової труби у 10 разів перевищує теплопровідність міді, срібла або алюмінію та досягає 10^7 Вт/(м·К).

Теплові труби з фільтром, у яких перенесення рідкої фази здійснюється за рахунок капілярних сил, широко застосовуються в ядерній, космічній та електронній промисловості, де дія сили тяжіння є низькою або відсутньою.

Найперспективнішими для використання в нафтовій промисловості є гладкі гравітаційні труби з фазовим переходом – так звані термосифони. Капілярні структури внутрішньої поверхні труби створюють додатковий гідравлічний опір потоку конденсату. У результаті тепловий потік у фільтрових трубах є нижчим, ніж у термосифонах. Теплові труби також можуть використовуватися для утилізації тепла вихлопних газів, охолодження рідких потоків, нагрівання термолабільних рідин за сталої температури тощо.

Нижче наведено кілька способів застосування АТІ, компресійних теплових насосів, гвинтових компресорів і теплових труб у процесах нафтопереробки.

10.2. Оптимізація енергетичних витрат у процесах первинної переробки нафти

Як було зазначено вище, обладнання для первинної переробки нафти є найбільш енергоємним. Існують два можливі шляхи зниження витрат: підвищення рівня рекуперації відходів та оптимізація технологічних схем і параметрів перегонки нафти.

Перший підхід пов'язаний з оптимізацією схеми теплообміну та зниженням температури нафти, що надходить у нагрівальну піч. У сучасному обладнанні ця температура досягає 540–550 К. При цьому відходи з температурою нижче 420 К можуть передавати своє тепло повітрю через численні повітроохолоджувальні установки (ПОУ), які практично не використовуються. Таким чином, існує значний потенціал для скорочення кількості ПОУ та зменшення енергоспоживання.

Другий підхід полягає в оптимізації схеми розподілу та зниженні рівня тиску в атмосферній і вакуумній колонах. Усі ці заходи дозволяють зменшити теплове навантаження на піч, знизити температуру нагріву в атмосферній і вакуумній колонах до 630 і 650 К відповідно, а також зменшити рівень розкладання сировини та коксування катушок печі.

Через зниження тиску погіршуються умови конденсації пари у верхній частині колони. Для підтримки тиску та подачі газу в установку гідроочищення і секцію виділення зрідженого газу може бути використаний гвинтовий компресор.

Рисунок 10.3 демонструє технологічну схему первинної переробки нафти із застосуванням енергозберігаючих технологій, яка має такі особливості:

- температура нафти після установки електрообезсолювання підвищується до 550 К завдяки ефективній схемі теплообміну. У печі встановлено сепаратор для зменшення перепаду тиску (1);
- надлишковий тиск у верхній частині атмосферної колони (3) становить приблизно 0,14 МПа. Температура нафти на виході з печі становить 630 К;
- гвинтовий компресор (7) встановлений для подачі пари до стабілізатора (поз. 8), де тиск піднімається до 0,9 МПа;
- розрахунки показали, що зниження тиску в атмосферній колоні на 0,8 МПа дозволяє зменшити питомі енерговитрати більш ніж на 10 %;
- у вакуумній установці завдяки низькому перепаду тиску у верхній частині вакуумної колони (3,99 кПа) та малому перепаду тиску всередині колони і трубопроводів можливо знизити температуру нагріву мазуту на виході з печі до 650 К;
- для підтримки необхідного тиску 3,99 кПа у вакуумній колоні в її куб вводиться водяна пара, а температура підтримується на рівні 293 К. Ці умови забезпечуються абсорбційною бромисто-літієвою холодильною

машиною (АБХМ, 13), у якій циркулююча вода охолоджується до 288 К. Як теплоносій в АБХМ може використовуватися пара під тиском 0,15 МПа.

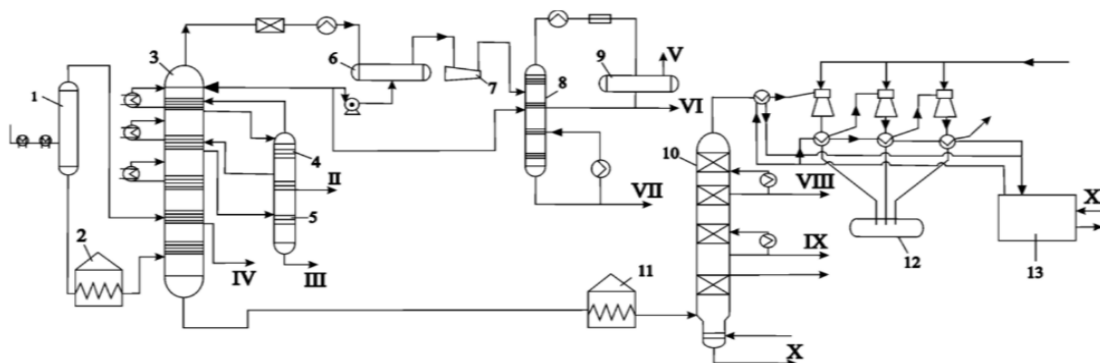


Рисунок 10.3 – Принципова схема установки атмосферної перегонки:

1 – попередній сепаратор; 2, 11 – нагрівальні печі; 3 – атмосферна колона;

4, 5 – відгінні секції; 6, 9 – рефлюксні ємності; 7 – гвинтовий компресор;

8 – стабілізатор; 10 – вакуумна колона; 12 – барометрична ємність;

13 – повітроохолоджувальна установка (ПОУ);

фракції: I – нафта; II – керосинова фракція; III – легка дизельна фракція; IV – важка дизельна фракція; V – паливний газ; VI – зріджений газ; VII – стабільна бензинова

фракція; VIII – дизельне паливо; IX – вакуумний газойль; X – гудрон;

XI – низькотемпературна водяна пара

Загалом застосування енергозберігаючих технологій у первинній переробці нафти дозволяє знизити ефективні енерговитрати, а термін окупності капітальних вкладень становить приблизно 1,5 року.

10.3. Зниження енерговитрат у процесах гідроочищення та ізомеризації

Гідроочищення середніх дистилатів широко використовується в сучасних технологіях нафтопереробки та займає друге місце за енерговитратами (після первинної переробки).

Основні способи зниження енерговитрат: удосконалення системи каталізаторів; зниження концентрації водню (інтеграція установки

концентрованого водню в технологічний процес); поєднання холодного та гарячого розділення для більш ефективного виділення водню та максимального вилучення зрідженого газу; оптимізація схеми теплообміну та усунення повітроохолоджувальних установок (ПОУ), які використовують холодильні машини.

Ізомеризація, виробництво метил-трет-бутилового ефіру (MTBE) та фракціонування газів – ці процеси відбуваються при відносно низьких температурах із чітким розділенням фракцій, що потребує значних енерговитрат. Для їх зменшення доцільно застосовувати тепловий насос та абсорбційну бромисто-літєву холодильну машину (АБХМ).

Питання для самоконтролю за розділом 10

1. Які основні фактори ускладнюють технологічні схеми нафтопереробки та підвищують енергоспоживання?
2. Що таке pinch-аналіз і яку роль він відіграє в зниженні енерговитрат?
3. Які вторинні енергетичні ресурси використовуються у сучасних енергозберігаючих технологіях нафтопереробки?
4. Які переваги має абсорбційний тепловий інвертор (АТІ) порівняно з компресійними холодильними установками?
5. Як працює компресорний тепловий насос і що є основним принципом його функціонування?
6. Чим відрізняються теплові труби від термосифонів і для чого вони застосовуються у нафтопереробці?
7. Які два основні шляхи зниження енергоспоживання у процесі первинної перегонки нафти?
8. Як використання гвинтових компресорів і АБХМ допомагає оптимізувати енерговитрати у первинній переробці?

9. Які заходи дозволяють знизити енерговитрати у процесах гідроочищення?

10. Чому для ізомеризації та виробництва МТВЕ доцільно застосовувати теплові насоси та АБХМ?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергозбереження і енергоефективність : конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи» / уклад. Є. В. Вербицький. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 106 с.
2. Основи енергоефективності : навчально-методичний посібник для ПТНЗ / уклад. І. П. Задорожна. – Львів : НМЦ ПТО у Львівській обл. – 2011. – 78 с.
3. Ресурсоефективні хімічні технології та циркулярна економіка : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад. В. В. Галиш, І. М. Трус. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 140 с.
4. Практичні аспекти управління відходами в Україні : посібник / М. О. Барінов, І. Л. Олексієвець, Д. В. Родная та ін. – Київ : «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
5. Утилізація та рекуперація відходів: переробка відходів целюлозно-паперових виробництв : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / В. В. Галиш, В. М. Радовенчик, Я. В. Радовенчик та ін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 75 с.
6. Енергоефективні технології : навчальний посібник / А. С. Мандрика та ін. ; за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 330 с.
7. Воронов Г. К. Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах : конспект лекцій для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / Г. К. Воронов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 118 с.
8. Циба М. Ресурсоефективне та чисте виробництво : навч. посіб. / М. Циба, А. Ворфоломеев. – 2017. – 84 с.

9. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування : навч. посіб. / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – Київ : Кондор, 2011. – 552 с.
10. Шульга І. В. Основи технології коксування : посібник / І. В. Шульга, Д. В. Мірошніченко, О. В. Богоявленська. – Харків-Тернопіль : НТУ «ХП», Видавництво «Крок», 2022. – 128 с.
11. Шульга І. В. Фізика та хімія твердих горючих копалин : посібник / І. В. Шульга, Д. В. Мірошніченко. – Харків-Тернопіль : НТУ «ХП», Видавництво «Крок», 2022. – 212 с.
12. Хімія і фізика горючих копалин / В. І. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський та ін. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. – 600 с.
13. Братичак М. М. Хімія та технологія переробки вугілля : підручник / М. М. Братичак, С. В. Пиш'єв, М. І. Рудкевич. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2006. – 272 с.
14. Загальна хімічна технологія: підручник / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак та ін. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 552 с.
15. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля / С. Л. Ярошевський, А. В. Ємченко, І. В. Шульга та ін. – Харків : Контраст, 2012. – 204 с.
16. Енергоресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі : монографія / К. К. Пушкарьова, Л. Й. Дворкін, Г. М. Шабанова та ін. – Київ : Задруга, 2014. – 272 с.
17. Сучасні будівельні матеріали і конструктивні системи для зведення доступного житла та об'єктів інфраструктури : монографія / К. К. Пушкарьова, А. М. Бамбура, Г. М. Шабанова та ін. – Київ : Вік-Принт, 2015. – 265 с.
18. Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв : навчальний посібник / А. В. Свідерський, Л. П. Черняк, В. Г. Сальник та ін.

– Київ : НТУ «КПІ», 2015. – 92 с.

19. Толмачов С. М. «Будівельне матеріалознавство. Кам'яні матеріали, розчини та бетони на основі неорганічних в'язучих : підручник / С. М. Толмачов, О. А. Беліченко . – Харків: «НТМТ», 2018. – 240 с.

20. Виробництво композиційних матеріалів на основі в'язучих речовин : навч. посіб. / Г. М. Шабанова, А. М. Корогодська, О. М. Борисенко та ін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – 239 с.

21. Шабанова Г. М. Хімічна технологія в'язучих матеріалів загального та спеціального призначення : навч. посіб. для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» / Г. М. Шабанова, О. М. Борисенко, В. В. Тараненкова. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – 250 с.

22. Керамічні матеріали на основі відходів вугільної промисловості : монографія / Г. В. Лісачук, Л. П. Щукіна, О. Ю. Федоренко та ін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – 140 с.

Навчальне видання

ШАБАНОВА Галина Миколаївна

ЛАВРОВА Інна Олегівна

ЧЕРКАШИНА Ганна Миколаївна

МИРОНОВ Антон Миколайович

БОРИСЕНКО Оксана Миколаївна

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ РЕСУРСО-, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
ТА РЕЦИКЛІНГ У ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Навчальний посібник

для студентів спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія»

Відповідальна за випуск проф. Федоренко О. Ю.

Роботу до видання рекомендувала проф. Пітак Я. М.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 87

Гарнітура Times New Roman

Ум. друк. арк. 15,0

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Електронне видання