

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Г. К. Воронов, О. В. Христич, О. І. Пилипенко

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
У ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання
зі спеціальності G1 – Хімічні технології та інженерія,
освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Воронов Г. К. Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах : конспект лекцій для здобувачів 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності G1 – Хімічні технології та інженерія, освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія» / Г. К. Воронов, О. В. Христич, О. І. Пилипенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 122 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц., Г. К. Воронов,
канд. техн. наук, доц., О. В. Христич,
канд. техн. наук, доц., О. І. Пилипенко

Рецензент

О. В. Саввова, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та інтегрованих технологій (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій, протокол № 1 від 29.08.2025.

Конспект лекцій складено для допомоги здобувачам хімічних спеціальностей ЗВО під час підготовки до занять, самостійної роботи, контрольних заходів із курсу «Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах».

© Г. К. Воронов, О. В. Христич, О. І. Пилипенко, 2025
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Роль енерго- та ресурсозбереження в розвитку економіки України та країн світу.....	6
Тема 1.1 Роль енерго- та ресурсозбереження в розвитку економіки.....	6
Тема 1.2 Керівні положення директиви з ресурсо- та енергозбереження в країнах Європейського Союзу та перспективи України під час виконання енергетичної стратегії розвитку.....	13
2 Стан енерго- та ресурсозбереження хімічної промисловості України.....	20
Тема 2.1 Енергоємність та потенціал розвитку хімічної промисловості України	20
Тема 2.2 Ресурсозабезпеченість хімічної промисловості України природними сировинними матеріалами	27
3 Альтернативні види палива. Світовий досвід застосування та перспективи.....	37
Тема 3.1 Загальні питання	37
Тема 3.2 Геліоенергетика.....	41
Тема 3.3 Вітроенергетика	46
Тема 3.4 Гідроенергетика.....	48
Тема 3.5 Біоенергетика	51
4 Класифікація альтернативної сировини та методи її використання.....	54
Тема 4.1 Сучасний стан проблеми промислових відходів.....	54
Тема 4.2 Сучасні проблеми, які пов'язані з промисловими відходами....	56
Тема 4.3 Джерела утворення відходів, класифікація й методи їхньої переробки	60
Тема 4.4 Методи підготовки і переробки твердих відходів.....	63
Тема 4.5 Технології видалення промислових відходів.....	68
5 Використання техногенних відходів під час виготовлення матеріалів	71
Тема 5.1 Використання відходів паливно-енергетичного комплексу	71
Тема 5.2 Утилізація відходів металургійного комплексу	77

Тема 5.3 Утилізація відходів машинобудівного комплексу	83
Тема 5.4 Утилізація відходів хімічного виробництва	86
6 Новітні енергоощадні технології в хімічній промисловості.....	98
Тема 6.1 Актуальність застосування технологій енергозбереження	98
Тема 6.2 Сфери застосування теплоізоляційних матеріалів і технологій енергозбереження за галузями промисловості.....	103
7 Інноваційні шляхи підвищення ефективності використання енергоресурсів та утилізація тепла на хімічних виробництвах.....	107
Тема 7.1 Принципи підвищення енергоефективності на хімічних виробництвах	107
Тема 7.2 Енергозбереження у технології скла	110
Тема 7.3 Сучасні вимоги до екологічних норм підприємств скляної та емальовальної галузі щодо викидів в атмосферу та методів їхнього знешкодження	117
Список рекомендованої літератури.....	120

ВСТУП

Сьогодні практично будь-яка область інженерної діяльності пов'язана із розробкою, впровадженням та експлуатацією ресурсо- та енергоощадних технологій, питаннями трансформації і передачі енергії.

Традиційні джерела енергії (різні палива, гідроресурси) та технології їх використання вже не здатні забезпечувати необхідний рівень енергоозброєності суспільства, тому що це невідновлювані джерела. У світлі викладеного все більш актуальним стає широке практичне використання так званих нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, які до всього іншого є ще й екологічно чистими.

Енергоощадна політика має особливо важливе значення для галузей промислового виробництва, заснованих на технологіях з великою енергоемністю і з низьким рівнем корисного використання палива, до яких відноситься і хімічна промисловість. У багатьох галузях виробництва є особливо великі резерви економії палива і тепла та можливості їх практичної реалізації. Значне місце також займає проблема раціонального використання вторинних енергетичних і сировинних ресурсів.

Лекційний курс з дисципліни «Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах» розроблений для студентів, які навчаються за спеціальністю G1 – Хімічні технології та інженерія, освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія»). Метою вивчення дисципліни є формування здатності обґрунтовано обирати заходи з підвищення ефективності хімічних виробництв шляхом впровадження енерго- та ресурсозбереження з урахуванням сучасних досягнень в області скорочення трудових та матеріальних витрат.

1 РОЛЬ ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ ТА КРАЇН СВІТУ

Тема 1.1 Роль енерго- та ресурсозбереження в розвитку економіки

Сучасний рівень розвитку світової цивілізації досягнутий завдяки використанню машин, що заміщають фізичну працю. Людина, яка проживає в промислово розвиненій частині світу, використовує сьогодні від 1 кВт до 10 кВт потужності стаціонарних електричних станцій, що дозволяють замінити фізичну працю декількох сотень людей, не витрачаючи на це харчових ресурсів.

В епоху індустріального розвитку суспільства, що датується періодом з початку XX століття до 1973 р., що часто іменується також періодом екстенсивного розвитку або періодом дешевих палив, характеризувався експоненціальним зростанням світової економіки, що супроводжувався пропорційним зростанням ресурсо- та енергоспоживання. Протягом 1950–1970 рр. темпи зростання світового споживання енергії збільшилися на 5 % та у 2,5 рази перевищили темпи зростання населення світу. Такі високі темпи розвитку підтримувалися низькими цінами на нафту, яка була основним енергоносієм провідних економік світу. Вона характеризується легкістю добування, транспортування і переробки.

Проте на початку 1970-х років темпи споживання нафти почали випереджати зростання її добування. Це призвело до різкого стрибка цін на нафту, що викликав шок економік розвинених країн світу. Видимим приводом для цінового шоку стало те, що наприкінці 1973 р. арабські країни використовували нафту як свого роду політичну зброю проти країн Заходу, які підтримали Ізраїль в арабо-ізраїльському військовому конфлікті. Проте його глибинною причиною була одностороння відмова адміністрації президента США Р. Ніксона від золотого забезпечення американського долара – основної резервної валюти світу. Такий крок, зроблений в 1968 році, призвів до значних

економічних втрат у всьому світі, а особливо в арабських країнах Персидської затоки – основних експортерах нафти.

У США, Японії, країнах Західної Європи у відповідь на нафтовий шок були прийняті екстрені заходи зі скорочення енергоспоживання. Услід за цим країни – імпортери нафти приступили до реалізації скоординованих програм, направлених на ослаблення нафтової залежності. Ними був створений міжурядовий координаційний орган – Організація економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР) з аналітичним і консультативним центром – Міжнародним енергетичним агентством (МЕА).

Головна ставка робилась на енергозбереження, більш повне використання власних енергетичних ресурсів, розвиток атомної енергетики, заміщення нафти природним газом. Як основний захід енергозбереження було взято курс на структурну перебудову економіки зі скороченням енергоємних промислових виробництв та збільшенням частки сфери послуг. Ця політика дала свій ефект. Енергоємність економік країн – імпортерів нафти виявила стійку тенденцію до зменшення, зростання внутрішнього валового продукту (ВВП) почало перевищувати збільшення енергоспоживання і, починаючи з 70-х років ХХ століття, світ вступив в новий, постіндустріальний період свого розвитку – період інтенсивного заощадження енергії.

Основним напрямом сучасної політики енергозбереження в розвинених країнах світу служить структурна перебудова економіки зі скороченням частки енергоємних виробництв у формуванні ВВП. Проте в умовах глобалізації міжнародної торгівлі скорочення енергоємних виробництв в розвинених країнах світу приводить до їх заміщення в країнах, що розвиваються. У результаті деяке падіння душевого споживання енергії в розвинених країнах компенсується його зростанням в країнах, що розвиваються, і в країнах з перехідною економікою.

Приблизна сталість енергоозброєності в країнах світу говорить про те, що структурне енергозбереження, вельми ефективне на національному рівні, не створює такого ж благотворного впливу на світовий рівень споживання енергії,

оскільки скорочення випуску енергоємної продукції в розвинених країнах викликає зростання споживання енергії на випуск відповідної продукції в інших країнах світу.

Світове споживання енергії – це загальна енергія, яка використовується всією людською цивілізацією. Вимірювана зазвичай на рік, вона вміщує всю енергію, що споживається від кожного джерела енергії, котре застосовується людством у кожній промисловій та технологічній галузях усіма країнами. Воно не враховує енергію витрачену на приготування їжі, та обсяг, від прямого спалювання біомаси, оскільки це не можливо точно виміряти. Світове споживання енергії, як джерела існування цивілізації, глибоко впливає на соціально-економічну та політичну царини людства.

Тісно пов'язаною зі споживанням енергії, є загальна первинна енергія, що визначається як форма енергії в природі, яка не була піддана процесу штучного перетворення. Первинна енергія може бути отримана з невідновлюваних або поновлюваних джерел енергії.

Для визначення енергоємності різних галузей промисловості країн, які суттєво відрізняються рівнем розвитку та об'ємом виробництва використовують показник – енергоємність первинної енергії.

Рівень енергоємності первинної енергії – це співвідношення між витраченою енергією до валового внутрішнього продукту. Енергоємність – це показник того, скільки енергії використовується для виробництва однієї одиниці економічної продукції. Більш низьке відношення вказує на те, що для виробництва однієї одиниці продукції використовується менше енергії. Так, за рейтингом організації World Development Indicators (WDI), за станом на 2015 рік, Україна займає 11-те місце, серед 189 країн та великих промислових міст світу (рис. 1.1).

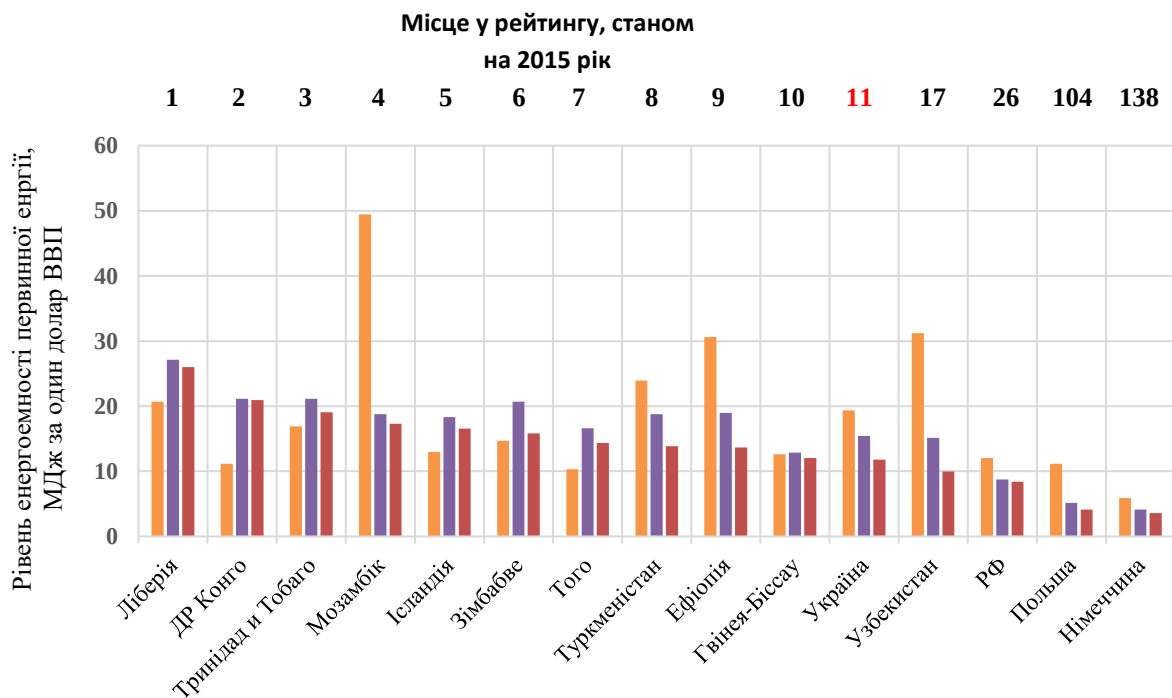


Рисунок 1.1 – Зміна рівня енергоемності первинної енергії деяких країн світу у 1990, 2000 та 2015 рр. та рейтинг країн за рівнем енергоспоживання у 2015 році. За даними організації World Development Indicators

За розгляду зміни рівня енергоемності країн рейтингу у часі можливо визначити загальну тенденцію, а саме постійне зменшення цього показнику незалежно від рівня зростання потужностей промисловості (рис. 1.2).

Реалізація комплексу заходів з енерго- та ресурсозбереження на світовому рівні реалізується на основі офіційних документів прийнятих Міжнародними товариствами. Один з них – це «17 цілей сталого розвитку» (17 ЦСР), який є частиною «Порядку денного в галузі розвитку на період до 2030 року», прийнятого світовими лідерами на Саміті ООН у вересні 2015 року. Глобальні цілі офіційно набрали чинності 1 січня 2016 року та визначають основні напрямки розвитку світового суспільства на найближчі 15 років. Протягом цього часу країни будуть спрямовувати свої зусилля на подолання всіх форм бідності, на боротьбу з нерівністю та на усунення негативних проявів кліматичних змін.

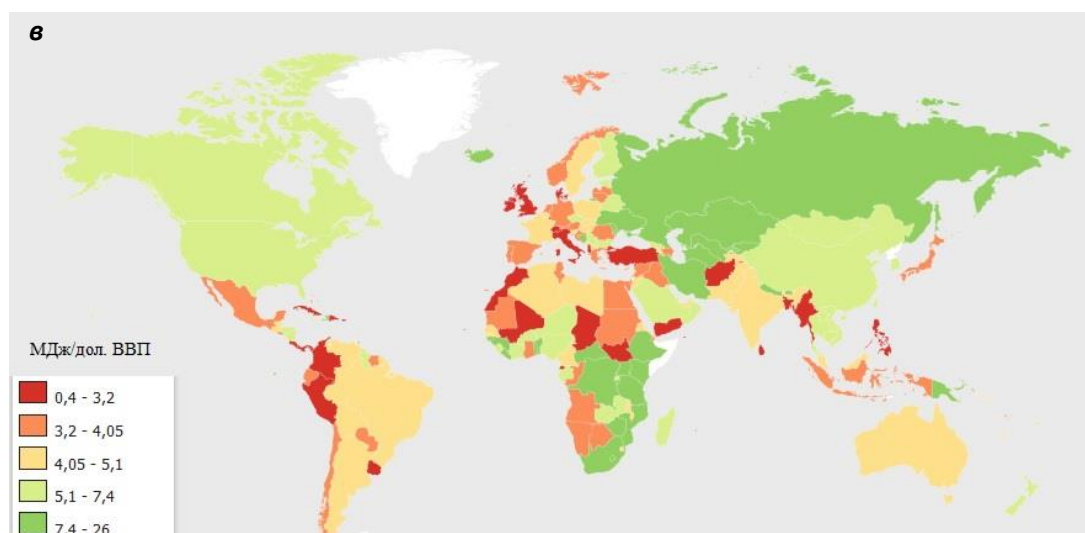
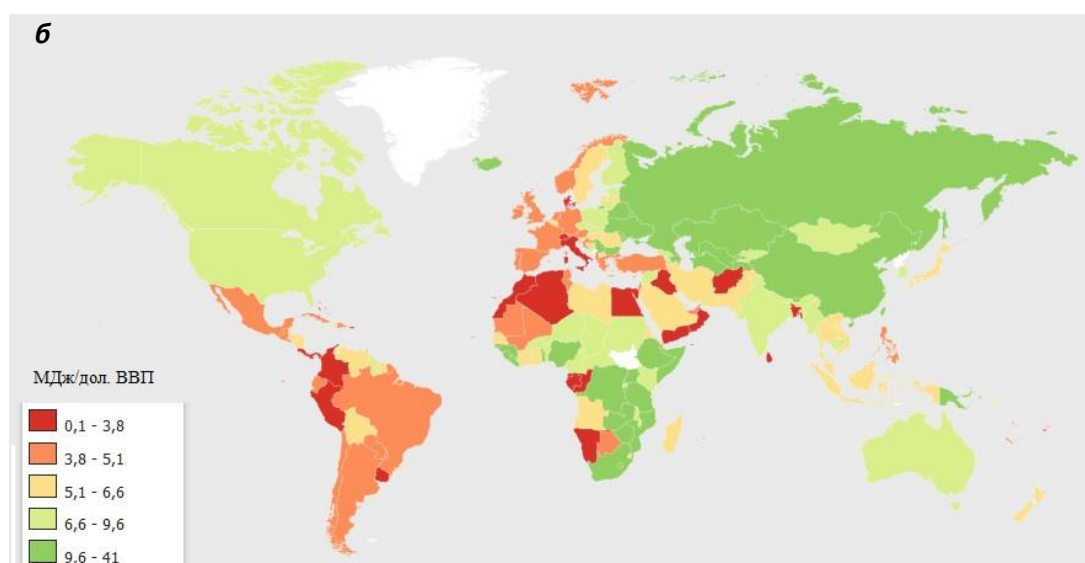
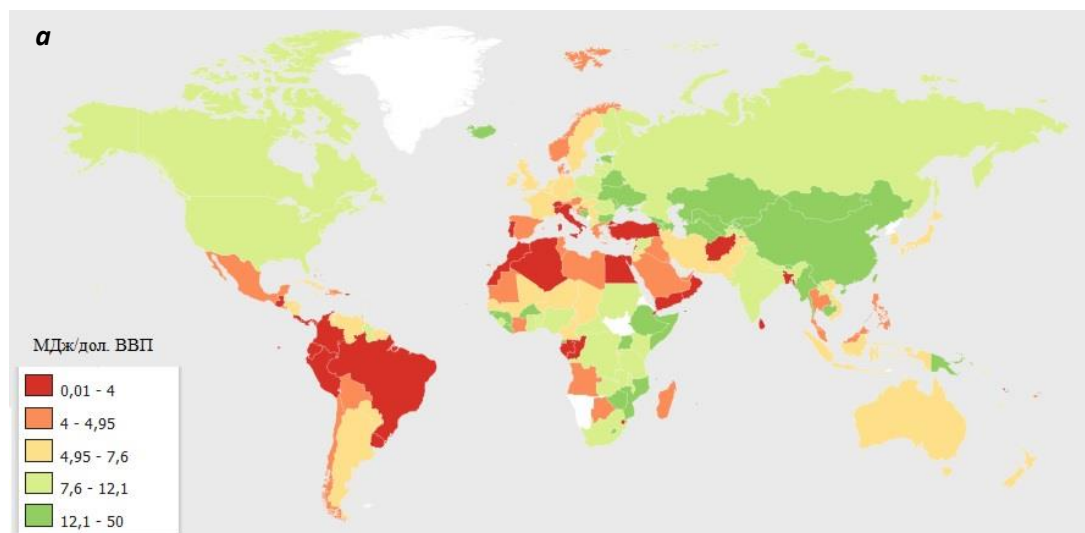


Рисунок 1.2 – Рівень енергоємності первинної енергії у світі
в 1990-му (а),
2000-му (б) та 2015-му (в) рр.

Хоча 17 ЦСР не є юридично обов'язковими, очікується, що уряди візьмуть на себе відповідальність і створять національні умови для їх досягнення. Країни несуть основну відповідальність за подальшу діяльність та аналіз досягнутого в реалізації цих цілей, що потребує якісного, доступного та своєчасного збору даних.

Україна, як і інші країни-члени ООН, приєдналася до глобального процесу забезпечення сталого розвитку та встановила рамки національного розвитку України на період до 2030 року.

Кожну глобальну ціль (рис. 1.3) було розглянуто з урахуванням специфіки національного розвитку. Серед цих положень для хімічних виробництв інтерес викликає ціль № 12 – забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва.



Рисунок 1.3 – Сімнадцять цілей сталого розвитку

Глобальні положення цієї цілі передбачає такі напрямки ресурсо- та енергозбереження в промисловості країн:

– до 2030 року домогтися *раціонального освоєння й ефективного використання природних ресурсів*;

– до 2030 року домогтися екологічно *раціонального використання хімічних речовин* і всіх відходів упродовж усього їх життєвого циклу відповідно до узгоджених міжнародних принципів, істотно скоротити потрапляння цих речовин у повітря, воду і ґрунт, щоб звести до мінімуму їх негативний вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище;

– рекомендувати компаніям, особливо великим і транснаціональним, застосовувати стійкі методи виробництва та відображати інформацію про *раціональне використання ресурсів* у своїх звітах;

– надавати країнам, що розвиваються, допомогу в нарощуванні їх науково-технічного потенціалу для переходу до *більш раціональних моделей споживання і виробництва*;

– *раціоналізувати неефективне субсидування використання викопного палива*, що веде до його марнотратного споживання, за допомогою усунення ринкових диспропорцій з урахуванням національних умов, у тому числі шляхом реорганізації оподаткування та поступової відмови від шкідливих субсидій там, де вони існують, для обліку їх екологічних наслідків, повною мірою беручи до уваги особливі потреби й умови країн, що розвиваються, і зводячи до мінімуму можливі негативні наслідки для їх розвитку так, щоб захистити інтереси нужденних і вразливих груп населення.

Положення відносно стратегії України у межах 12-ї цілі містять такі пункти:

- *знижити ресурсоємність економіки*;
- *забезпечити стале використання хімічних речовин* на основі інноваційних технологій та виробництв;
- *зменшити обсяг утворення відходів і збільшити обсяг їх переробки* та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництв

Отже, враховуючи постійний ріст населення, підвищення рівня споживання товарів, обмежену кількість природних ресурсів провідними країнами світу було обрано напрямок енерго- та ресурсозбереження, що може

бути реалізовано в хімічній промисловості шляхом проведення постійного енергоаудиту та впровадження результатів науково-технічного прогресу.

Тема 1.2 Керівні положення директиви з ресурсо- та енергозбереження в країнах Європейського Союзу та перспективи України під час виконання енергетичної стратегії розвитку

На сьогоднішній день, основним документом, що регламентує мету, напрямки та засоби енерго- та ресурсозбереження в країнах Європейського Союзу є «Довідковий документ по найкращим доступними технологіям забезпечення енергоефективності» («Reference document on best available techniques for energy efficiency»).

Виробництво і споживання енергії розглядається Європейським Союзом (ЄС) як пріоритетна проблема в силу трьох взаємопов'язаних причин:

- *зміна клімату*, бо спалювання викопного палива для отримання енергії є основним антропогенним джерелом парникових газів, які негативно впливають на зміну клімату Землі;
- *масштабне споживання невідновлюваних запасів викопного палива*, поряд з необхідністю забезпечення стійкості розвитку промисловості;
- *безпеку енергопостачання*: ЄС імпортує понад 50 % споживаних енергоносіїв.

Методи, подані в цьому документі як «найкращі доступні технології» (НДТ), направлені на зменшення ресурсо- та енергоспоживання підприємств і на зменшення рівня забруднення навколишнього середовища, але вони необов'язково застосовуються для будь-яких технологій та обладнання, оскільки:

- може виявитися неможливим одночасно забезпечити максимальну енергоефективність всіх видів діяльності заводу, цеху чи окремого технологічного процесу;

- може виявитися неможливим забезпечити максимальну загальну енергоефективність, одночасно зводячи до мінімуму споживання інших ресурсів, а також викиди;

- може знадобитися знизити енергоефективність однієї або декількох систем та/або процесів для забезпечення максимальної загальної ефективності цеху та підприємства в цілому;

- необхідно підтримувати баланс між прагненням до максимальної енергоефективності і забезпеченням необхідних експлуатаційних характеристик продукції та інших виробничих факторів;

- використання енергії з відновлюваних джерел та/або регенерація відходить або надлишкового тепла можуть бути кращі з точки зору стійкості, ніж спалювання викопного палива, навіть при меншій енергоефективності.

До найбільш загальних зі значної кількості найкращих доступних технологій в напрямку забезпечення енергоефективності на рівні цеху та/або технологічного процесу є:

- *енергоменеджмент*, головною метою якого є проведення та підтримка політики енергоефективності, шляхом керування процесами визначення мети, завдань і шляхів реалізації окремих його етапів й оцінка їх ефективності;

- *виявлення аспектів енергоефективності* установки і можливостей для енергозбереження;

- *ефективний контроль технологічних процесів*, що передбачає підтримку системи, яка забезпечує знання, розуміння і виконання персоналом встановлених процедур та забезпечення виявлення ключових параметрів результативності процесів, їх оптимізації з погляду енергоефективності;

- *підтримка та підвищення рівня кваліфікації* персоналу;

- *підвищення ступеня інтеграції процесів*, що полягає у прагненні до оптимізації використання енергії в межах більш ніж одного процесу або цеху;

- *утилізація тепла* та зменшення його втрат під час трансформації та споживанні.

Енергоефективність в контексті технологічних процесів може бути визначена двома способами.

Згідно з першим, це відношення витрат енергії до виходу технологічного процесу, тобто кількості виробленої продукції, послуг, роботи або іншої форми енергії. За законами термодинаміки частка корисно використовуваної в процесі енергії або коефіцієнт корисної дії (ККД) установки завжди буде менше 100 %, що пояснюється втратами, пов'язаними з передачею енергії за допомогою теплопровідності, конвекції або випромінювання (теплова незворотність). Наприклад, теплопередача передбачає не тільки передачу тепла в бажаному напрямку (наприклад варка скла, випал, сушка та ін.), але й розсіювання (втрати) через стінки реактора або печі.

Згідно з другим, раціональне (ефективне) використання енергії – використання енергії в оптимальних кількостях, необхідним чином і в необхідний час, а неефективне використання також є результатом неоптимального співвідношення між витратами енергії і потребою в ній, що може бути наслідком таких причин, як: неадекватні проєктні рішення, експлуатація або технічне обслуговування; експлуатація обладнання за відсутності потреби; реалізація технологічних процесів за температур, вище необхідної; відсутність заходів із ресурсо- та енергозбереження та ін.

Згідно зі статистичними даними, найбільші втрати енергії у хімічній технології відбуваються на етапах спалювання палива (переробки первинної енергії у вторинну).

У загальному випадку горіння – складний фізико-хімічний процес перетворення палива у продукти згоряння в ході екзотермічної реакції з окиснювачем, що супроводжується інтенсивним виділенням тепла та світла.

За взаємодії палива та окиснювача, окрім енергії, що виділяється, утворюються й продукти згорання (попіл, зола та ін.). Однак на практиці жодне паливо не згорає повністю. Так, під час спалювання вугілля в газах присутній як елементарний вуглець (сажа), так і продукти неповного згоряння (СО та ін.). Крім того, за використання як окиснювача атмосферного повітря частина азоту

з повітря окислюється з утворенням різних оксидів азоту (NO_x), здатних негативно впливати на навколишнє середовище.

Втрати енергії, які відбуваються у ході спалювання, можуть бути розділені на декілька груп:

- *втрати з газами (парами), що відходять*. Рівень цих втрат залежить від температури газів, складу використовуваного палива і повітря (окиснювача), а також ступеня зашлакованості поверхонь нагріву;

- *втрати від неповного згорання палива*. Частина хімічної енергії палива, що залишилося в продуктах реакції, не перетворюється на теплову енергію та залишається в твердій (зола) чи переходить у газову (CO_x) фазу;

- *втрати на теплопровідність і випромінювання*. Під час згорання більшості промислово затребуваних палив енергія згорання виділяється не тільки у вигляді тепла, а й у вигляді світла. Більшість промислових установок виготовлені з металів, що мають високу теплопровідність, що призводить до підвищених втрат через стінку агрегату.

Для забезпечення енергоефективності процесу згорання природного палива необхідним є зменшення втрат тепла кожної з перелічених вище груп. Однак рівень втрат за кожною з груп для різних хімічних виробництв, типу палива та конкретного обладнання може суттєво відрізнятися.

Втрати з димовими газами

Одним з варіантів скорочення втрат теплової енергії в процесі згорання є зниження температури димових газів, що викидаються в атмосферу. Це може бути досягнуто шляхом:

- підбору оптимальних характеристик (об'єму камери, продуктивності та ін.) обладнання, виходячи з необхідної максимальної потужності з урахуванням розрахункового запасу надійності;

- інтенсифікації передачі тепла технологічним процесом за допомогою збільшення питомої потоку тепла (зокрема, збільшенням турбулентності потоків робочого тіла), збільшення площі або удосконалення поверхонь теплообміну;

- рекуперації тепла димових газів з використанням додаткового технологічного процесу (наприклад, виробництва пари за допомогою економайзера);

- установки підігрівача повітря або води, або організація попереднього підігріву палива завдяки теплу димових газів. Варто зазначити, що підігрів повітря може бути необхідний, якщо технологічний процес вимагає високої температури полум'я (наприклад, у скляному або цементному виробництві);

- очищення поверхонь теплообміну від золи і частинок вуглецю, що накопичуються, з метою підтримання високої теплопровідності. Очищення поверхонь теплообміну в зоні горіння зазвичай здійснюється під час зупинки устаткування для огляду і технічного обслуговування, проте в деяких випадках можливе очищення без зупинки;

- забезпечення рівня виробництва тепла, яке відповідає існуючим потребам (і не перевищує їх), шляхом регулювання параметрів згорання палива. Наприклад, за допомогою підбору оптимальної пропускної здатності форсунок для рідкого палива або оптимального тиску, під яким подається газоподібне паливо.

Чим нижчою є температура димових газів, тим вищим є рівень енергоефективності. Однак зниження температури димових газів нижче певного рівня може призвести до виникнення ряду технологічних ускладнень. Зокрема, якщо температура газів буде нижче кислотної точки роси, тобто температури конденсації води і сірчаної кислоти (110–170 °C залежно від вмісту сірки) з газів, це може призвести до корозії металевих поверхонь в зоні контакту з конденсатом. Це викликає необхідність використання для відведення димових газів матеріалів, стійких до корозії, а також організації збору та переробки кислого конденсату.

Використання збереженої енергії можливе в багатьох напрямках, але найбільш оптимальними є підігрів повітря чи палива. Наприклад, організація попереднього підігріву повітря здатна забезпечити підвищення ККД системи спалювання на 3–5 %, що в промислових масштабах виробництва суттєво

позначається на енергоефективності продукції. Окрім цього, підігріте повітря може використовуватися для сушки палива (вугілля) чи сировинних матеріалів, дозволяє зменшити лінійні розміри котла згорання.

Втрати від неповного згорання палива

Для усунення другого типу втрат тепла – втрат від неповного згорання палива, найбільш ефективним є автоматизація процесу згорання палива, яка включає чітке контролювання співвідношення паливо / окисник, рівномірне змішування компонентів та обробку продуктів згорання.

Втрати на теплопровідність і випромінювання

Втрати тепла даного типу можуть проходити через стінки агрегатів та через їх отвори (оглядові вікна, зона завантаження шихти, канали виробки та ін.). Втрати через теплопровідність є більшими через стінки обладнання, а випромінювання – через робочі отвори.

Втрати тепла через стінки агрегатів залежать від площі поверхні, температури в середині агрегату та товщини його теплоізоляції. Оптимальна товщина та вид теплоізоляції, що враховує міркування економічної та енергоефективності, повинна визначатися в кожному конкретному випадку окремо. Однак теплоізоляція може поступово зношуватися, що вимагає її заміни за підсумками інспекцій в межах програм технічного обслуговування. Для виявлення зон порушеною теплоізоляції можуть використовуватися детектори інфрачервоного випромінювання (тепловізори). Обстеження за допомогою подібних пристроїв може проводитися під час роботи обладнання незадовго до зупинки на планове технічне обслуговування або ремонт.

Під час експлуатації печей можливі втрати енергії з тепловим випромінюванням через отвори, які використовуються, зокрема, для завантаження сировини чи розвантаження продукції. Ця проблема особливо актуальна для печей, робоча температура яких перевищує 500 °С. Отвори печей включають газоходи і труби, оглядові вікна, що використовуються для візуального контролю технологічного процесу, двері печей, що залишаються частково відкритими за обробки негабаритних деталей та інші отвори, які

використовуються для завантаження і вивантаження матеріалів, продукції, палива та ін. Зниження такого типу втрат можливе лише шляхом конструкторських рішень. Визначення зон втрат тепла легко визначається за допомогою тепловізора.

Отже, на підставі наведених основних положень «Довідкового документу з найкращих доступних технологій забезпечення енергоефективності» в країнах ЄС, можна зробити висновок, що зусилля у напрямку ресурсо- та енергозбереження направлені на раціональний вибір палива, оптимальний метод його окиснення та мінімізацію втрат тепла в системі (процесі) у взаємозв'язку з впливом продуктів згорання палива на екологію.

2 СТАН ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Тема 2.1 Енергоємність та потенціал розвитку хімічної промисловості України

Для стабільного та зростаючого економічного розвитку будь-якої держави велике значення має ефективність споживання енергетичних ресурсів. Це зумовлено рядом факторів, головним серед яких є недостатній рівень забезпеченості України власними енергетичними ресурсами.

Скорочення світових запасів вичерпних природних енергетичних ресурсів, таких як нафта, вугілля та природний газ, які становлять основу енергетичного балансу України, зумовлює стрімке збільшення їх ціни, а геополітичні проблеми – ускладнюють їх імпортування з інших країн, що ставить під загрозу надійність функціонування галузей хімічної промисловості України. Загострюється проблема ефективного споживання енергетичних ресурсів в Україні застосуванням застарілих неефективних технологій, високим рівнем зносу обладнання та витрат на виробництво продукції тощо. Водночас ефективність використання енергетичних ресурсів має безпосередній вплив на показники, що характеризують ефективність та конкурентоспроможність продуктів різних галузей господарства.

Згідно з українською нормативною базою, рівень споживання енергетичних ресурсів та енергоємності ВВП визначають виходячи понять «загальне постачання первинної енергії» та «кінцеве споживання енергії».

У першому (грубому) наближенні, загальне постачання первинної енергії – сума всіх джерел постачання енергоресурсів, що включають виробництво в країні, імпорт, експорт та зміни резервних запасів первинних джерел енергії (вугілля, природний газ, сира нафта, ядерна енергія та відновлювані джерела енергії). Зі свого боку, кінцеве споживання енергії – постачання енергетичних продуктів споживачам для процесів, які не є процесами їх перетворення або

трансформації. Відповідно, енергоємність внутрішнього валового продукту (ВВП) розраховують відносно рівня загального постачання первинної енергії та кінцевого споживання енергії.

Згідно зі статистичними даними зміни кінцевого енергоспоживання та загального постачання первинної енергії (рис. 2.1) в Україні з 2009 по 2015 рр. спостерігається стійка тенденція до зниження рівня споживання енергетичних ресурсів.

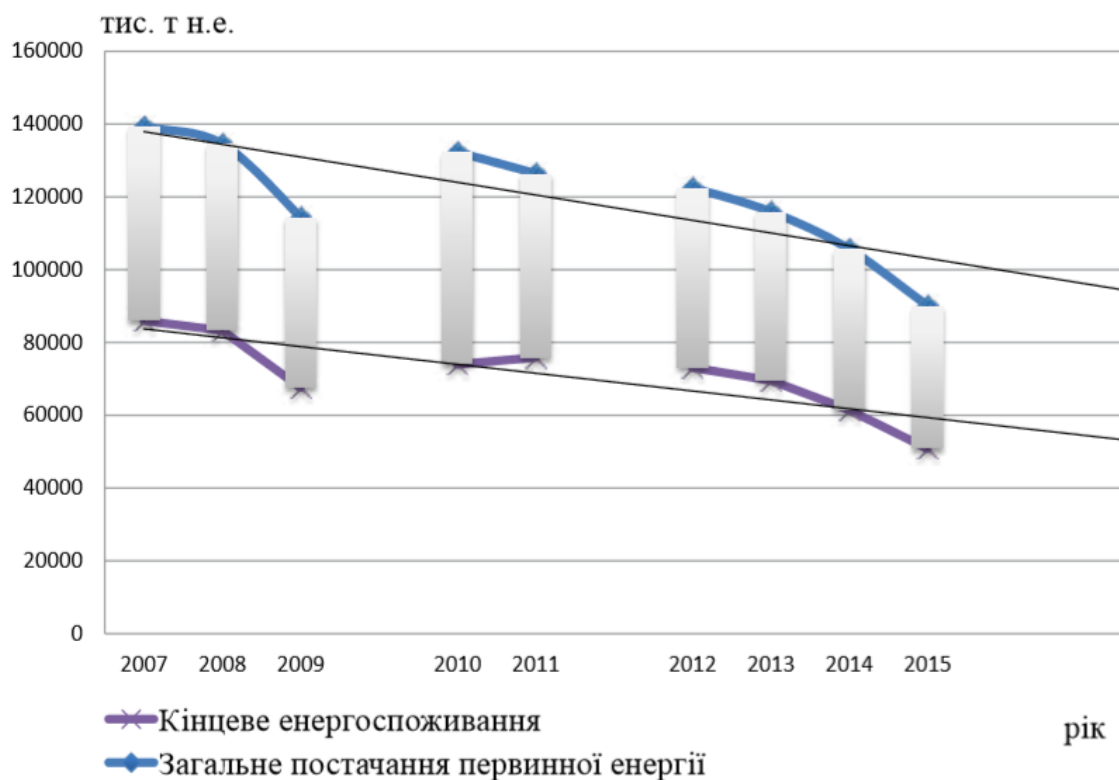


Рисунок 2.1 – Зміни кінцевого енергоспоживання та загального постачання первинної енергії в Україні

Однак, варто зазначити, що постачання первинної енергії характеризується позитивними структурними змінами. Наприклад, у 2015 р., порівняно з 2014 р., у загальній кількості енергетичних ресурсів відбулося зменшення частки споживання:

- природного газу з 31,6 % до 28,9 %;
- вугілля і торфу з 33,7 % до 30,4 %;

- та одночасне зростання частки:
- атомної енергії з 21,9 % до 25,5 %;
- нафти – з 7,2 % до 8,5 %;
- відновлюваних джерел (біопаливо, відходи тощо) – з 1,8 % до 2,3 %.

Більш інформаційноємним для оцінки рівня споживання енергоресурсів у відповідності до рівня розвитку економіки та промисловості різних країн є відношення енергоємності ВВП до рівня кінцевого енергоспоживання та загального постачання первинної енергії (рис. 2.2).

Згідно з даними, спостерігається стійка тенденція до зниження рівня енергоємності ВВП протягом розглянутого періоду. Однак, хоча рівні споживання енергетичних ресурсів та енергоємності ВВП щороку зменшуються, проте числові значення енергоємності ВВП України порівняно зі середньосвітовим рівнем є незадовільними. За даними Глобального статистичного щорічника з енергетики, Україна в 2016 та 2015 рр. отримала передостаннє місце за рівнем енергоємності ВВП у світі, а в 2014, 2013 та 2011 рр. наша держава взагалі мала найвищий рівень енергоємності у світі.

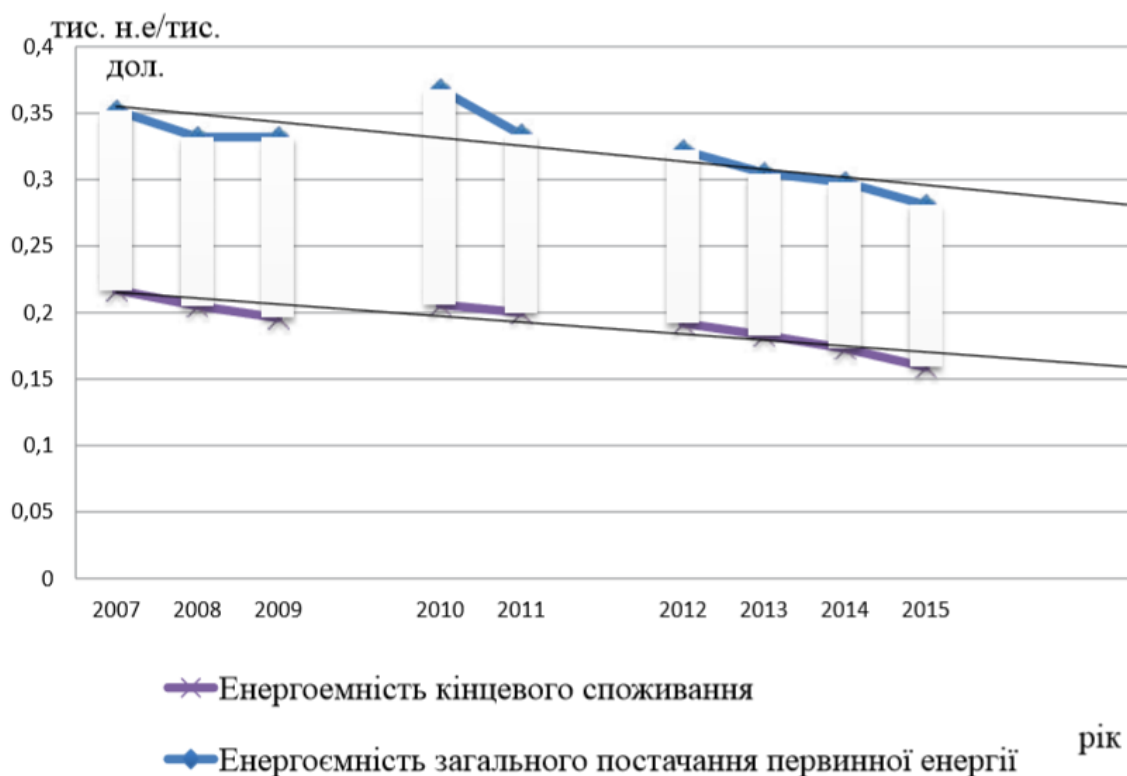


Рисунок 2.2 – Динаміка рівнів енергоємності ВВП

Рівень енергоємності ВВП України, за даними Світової енергетичної ради, у 2,5–3 рази перевищує рівень енергоємності більшості європейських країн. Ефективність використання енергетичних ресурсів має прямий зв'язок із рівнем витрат на виробництво товарів та послуг. Високі значення енергоємності ВВП України, свідчать про низьку конкурентоспроможність економіки нашої держави.

Промисловий сектор України знаходиться на другому місці (рис. 2.3) за рівнем кінцевого споживання енергетичних ресурсів, має суттєвий вплив на рівень економічного розвитку України та є найбільшим споживачем ресурсів.

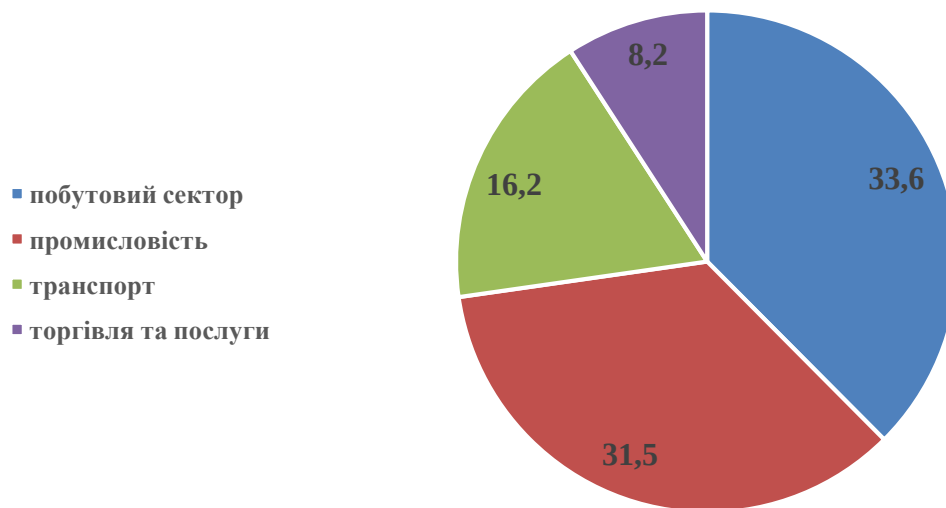


Рисунок 2.3 – Рівень кінцевого споживання енергетичних ресурсів

Згідно з даними енергоємності основних галузей промисловості України (табл. 2.1) найбільш енергоємною галуззю промисловості є металургійна, незначно їй поступаються машинобудування та обробна промисловість. Зважаючи на те, що підприємства зазначених галузей становлять основу української економіки, питання зниження енергоємності промислової продукції є першочерговим. Хімічна галузь знаходиться дещо на нижчих позиціях у зв'язку з деяким скороченням кількості підприємств хімічного комплексу та складністю збуту виробів.

Таблиця 2.1 – Енергоемність основних галузей промисловості України

Ч. ч.	Галузь промисловості	Енергоемність продукції, кг у.п./т
1	Металургія	960
2	Машинобудування	710
3	Обробна промисловість	635
4	Коксохімічне і нафтопереробне виробництво	335
5	Легка промисловість	260
6	Харчова промисловість	215
7	Виробництво деревини	207
8	Хімічне і нафтохімічне виробництво	195
9	Виробництво неметалевих мінеральних виробів	129
10	Виробництво і розподілення електроенергії	110

Високу енергоемність промислового комплексу України зумовлюють ряд чинників, головними з яких є:

- неефективне споживання палива;
- застарілість обладнання, комунікацій та незадовільні темпи їх оновлення;
- значні втрати енергоресурсів, під час їх транспортування, зберігання й розподілу;
- низький рівень упровадження енерго- та ресурсоефективних технологій та обладнання;
- низький рівень впровадження досягнень науково-технічного прогресу порівняно з промисловістю розвинених країн;
- суттєве технологічне відставання української промисловості від рівня розвинених країн;
- недостатнє використання вторинної сировини, промислових відходів та відновлюваної енергії тощо.

Однак, враховуючи досвід розвинених країн Європейського Союзу та світу, можна стверджувати, що діяльність, в напрямку енергозбереження складається з двох основних напрямків: *матеріального забезпечення* – яка реалізується на основі результатів науково-технічного прогресу і раціоналізації виробництва та *інформаційного* – що досягається створенням інформаційного поля, яке формує у людини відповідальний тип мислення (рис. 2.4).

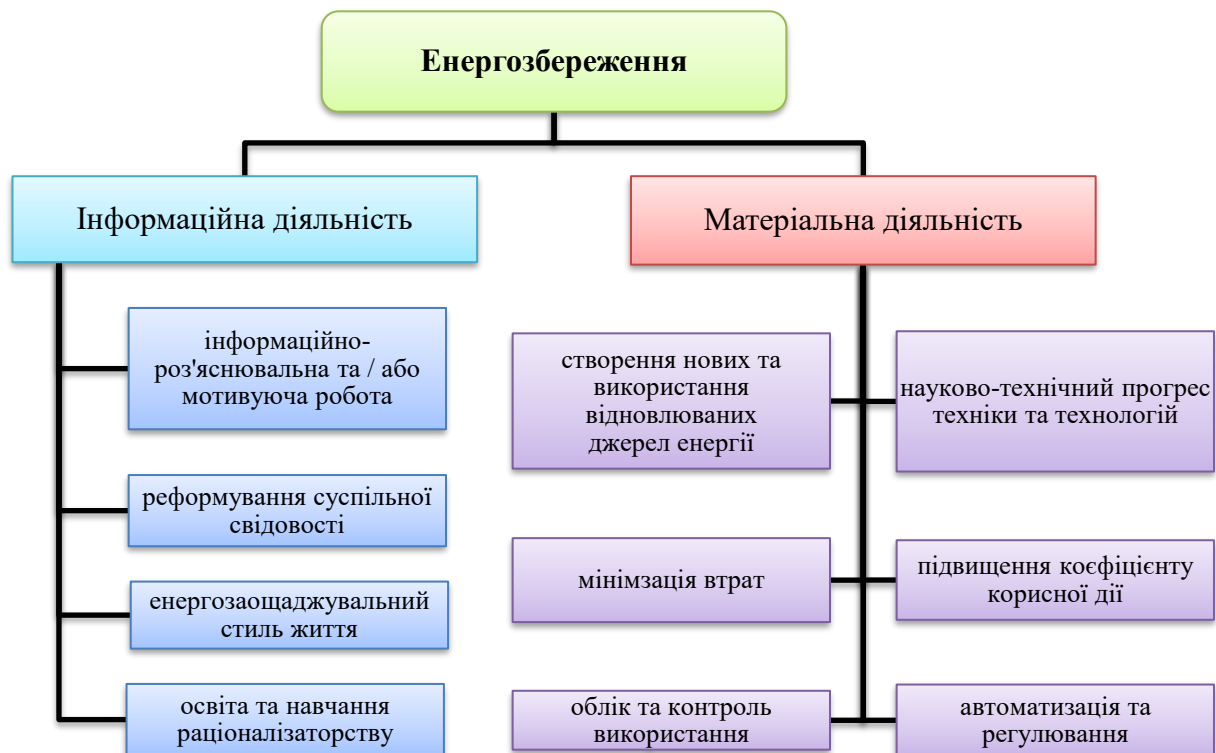


Рисунок 2.4 – Напрямки розвитку ефективного споживання енергії

Одним із головних завдань інформаційної роботи є поступове проникнення основ енергозбереження в усі сфери людської діяльності: побут, виробництво, транспорт, зв'язок, засоби масової інформації, рекламу тощо. Вона дає змогу сформувати у людини відповідний образ мислення, який унеможливорює будь-який інший підхід до використання ресурсів, окрім заощадливого, бережливого, мінімально необхідного в усіх сферах життєдіяльності.

Підписавши угоду про асоціацію з ЕС, Україна зобов'язалася відповідати високим європейським стандартам з енергоефективності та брати участь у енергетичному ринку. Відповідно до цих зобов'язань, Україна, в якій сьогодні найнижча енергоефективність в світі, повинна стати ближчою до європейських держав, де діє одна з найбільш енергоефективних економік. Фактично, це означає впровадження європейських норм для підвищення енергоефективності. У галузі хімічної промисловості основним документом – Директива Європейського Парламенту і Ради з енергоефективності.

Основним результатом виконання цієї стратегії варто вважати забезпечення в потрібних обсягах надійного і якісного постачання економіки і соціальної сфери країни енергетичними продуктами, підвищення економічної ефективності та екологічної безпеки завдяки впровадженню новітніх технологій шляхом модернізації, реконструкції та введення в експлуатацію нового обладнання.

До 2030 року передбачається досягти:

- зниження енергомісткості ВВП у 2,2 рази завдяки структурному й технологічному енергозбереженню;
- оптимізації структури виробітку електроенергії за видами палива (АЕС – 52,1 %, ТЕС, ТЕЦ, блок-станції – 42,9 %, інші типи генерування – 5 %);
- підвищення ефективності й екологічної чистоти електроенергетичного комплексу і теплопостачання;
- гарантування енергетичної безпеки шляхом зменшення рівня енергетичної залежності країни від зовнішніх поставок палива до 11,7 %;
- зростання виробітку електроенергії на власному паливі до 91,8 %;
- диверсифікації джерел енергопостачання шляхом участі України в міжнародних енергетичних проєктах;
- створення в країні стратегічних резервів нафти і природного газу для використання в надзвичайних ситуаціях та ринкового регулювання цін.

Державне регулювання розвитку енергетики здійснюватиметься за допомогою відповідної цінової, податкової, митної, антимонопольної політики

та інших засобів регулювання природних монополій, удосконалення законодавства і правової бази функціонування енергетичного сектора економіки. Важливим засобом досягнення цілей і завдань Енергетичної стратегії України до 2030 року стане формування належного економічного й соціального середовища, сприятливої громадської думки.

Тобто, підводячи підсумки викладеного матеріалу, можна зробити висновок, що для підвищення рівня розвитку сектору хімічної промисловості в Україні необхідним є суттєве зменшення енергоємності галузі, завдяки не тільки модернізації виробництва, що включає впровадження результатів науково-технічного прогресу, мінімізацію втрат та підвищення КПД процесів, а й підвищення рівня інформаційної освіченості спеціалістів з хімії та хімічної інженерії в методах та шляхах підвищення енергоефективності підприємств.

Тема 2.2 Ресурсозабезпеченість хімічної промисловості України природними сировинними матеріалами

Більшість мінералів і гірських порід, що містяться в земній корі, є корисними копалинами, тобто завдяки своїм властивостям можуть використовуватися у різних галузях господарства таких як енергетика, металургія, хімічна промисловість та будівництво. Корисні копалини як можливі джерела енергії чи сировина для різних галузей економіки називають мінерально-сировинними ресурсами. За призначенням їх поділяють на 4 групи: паливні (горючі), рудні (металічні) і нерудні (неметалічні), а також гідромінеральні. Людству відомі 200 видів корисних копалин, 120 з яких ми використовуємо для своїх потреб. В Україні розвідана майже половина з усіх відомих (97) видів корисних копалин.

Серед країн Європи та й у загальносвітових масштабах Україна виділяється, насамперед, запасами кам'яного вугілля, залізних, марганцевих, титанових і уранових руд, сірки, кам'яної солі, графіту, каоліну, озокериту, мінеральних фарб, облицювального каміння, мінеральних вод.

Паливні корисні копалини

На території України є всі основні види палива. Однак, за сумарними запасами серед паливних ресурсів найбільше кам'яного вугілля, потім ідуть а запаси природного газу і нафти, буре вугілля, торф і горючі сланці.

Кам'яне і буре вугілля

За розвіданими запасами кам'яного вугілля (більше 54 млрд т) Україна посідає 2-ге місце в Європі та 7-ме у світі. Основні його запаси сконцентровані у Донецькому басейні, що розташований на сході країни, та вміщують різні види кам'яного вугілля, а саме: енергетичне, антрацит, коксівне, які суттєво відрізняються своїми показниками, зокрема теплотвірністю (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Теплотвірність 1 кг деяких видів твердого палива

Тверде паливо	Питома теплота згорання		
	ккал	кВт · год	МДж
Вугілля кам'яне ($W = 10 \%$)	6 450	7,5	27,00
Вугілля буре ($W = 30\text{--}40 \%$)	3 100	3,6	12,98
Вугілля-антрацит	6 700	7,8	28,05
Вугілля деревне	6 510	7,5	27,26
Торф ($W = 40 \%$)	2 900	3,6	12,10
Торф в брикетах ($W = 15 \%$)	4 200	4,9	17,58
Торф-дрібняк	2 590	3,0	10,84
Пелета деревна	4 100	4,7	17,17

Внаслідок тривалої експлуатації найбільш потужні і доступні вугільні пласти вже вироблені, тому видобуток вугілля в багатьох частинах Донбасу стає не вигідним і небезпечним.

Порівняно невеликі запаси кам'яного вугілля зосереджені у Львівсько-Волинському басейні, який розташований на заході України на межі Львівської і Волинської областей. Воно використовується здебільшого у західному регіоні

країни як енергетичне і побутове паливо, через свою підвищену зольність і вологість.

Поклади бурого вугілля зосереджені в основному в Дніпровському басейні, родовища якого розкидані в Житомирській, Черкаській, Кіровоградській і Дніпропетровській областях. Вугілля залягає близько до поверхні, а тому видобувається відкритим способом. Таке вугілля використовують, як паливо, ТЕС і місцеве населення.

Нафта і природний газ

В Україні існує понад 300 родовищ нафти і природного газу, які зосереджені у чотирьох нафтогазоносних регіонах на заході, сході та півдні країни, але їх сумарні запаси відносно невеликі.

Основні ресурси нафти й газу зосереджені в Дніпровсько-Донецькому нафтогазоносному регіоні. Родовища нафти і супутнього газу виявлені в Чернігівській, Сумській, і Полтавській областях, а природного газу – в Харківській області. Найбільшими нафтовими і нафтогазовими родовищами є Лесяківське, Гнідинцівське (Чернігівська область), Глинсько-Розбишівське (Полтавська область), газовими – Західнохрещищенське (Полтавська область), Шебелинське, Єфремівське (Харківська область).

Карпатський нафтогазоносний регіон належить до найдавніших за освоєнням у Європі: видобуток нафти та природного газу у Передкарпатті ведеться ще з початку XIX ст. Однак, на багатьох із них видобуток нафти і газу припинено у зв'язку із виснаженням їх запасів. Найбільшими діючими є родовища в Івано-Франківській області: нафтове – Долинське, нафтогазове – Битків-Бабчинське, газове – Богородчанське.

У Причорноморсько-Кримському регіоні досліджено промислові родовища газу – Джанкойське, Глібівське (Крим), нафти – на Керченському півострові і півдні Одеської області. Високо оцінюються геологами поклади нафти й газу на шельфі Чорного й Азовського морів. Нафтогазоносні пласти залягають там на глибині 5 км за глибини моря 500 м. Нині відкрито більш як 10 родовищ, найбільшими з яких є Голіцинське, Штормове, Казантинське.

Подальша перспектива розвитку нафтогазоносних регіонів України пов'язана із дослідженням більш глибоких пластів та пошуками родовищ на нових площах – у Закарпатті, на сході країни, у Волино-Подільському нафтогазоносному регіоні (Локачинське газове родовище). Великі надії покладаються на геологорозвідувальні роботи в межах Причорноморсько-Кримського нафтогазоносного регіону, особливо на шельфі і материковому схилі Чорного й Азовського морів.

Горючі сланці та торф

Горючі сланці розвідані у Придніпров'ї – Бовтиське родовище (Кіровоградська область), Карпатах і на Поділлі, але їх промислова розробка поки що не проводиться. Горючі сланці можна використовувати як паливо для ТЕС (табл. 2.2), сировину для виробництва пластмас, цегли і цементу, як стимулятор росту рослин в сільському господарстві.

Поклади торфу, понад 2,5 тисячі невеликих родовищ, є здебільшого у північних областях України, в річкових долинах на Поліссі і в лісостепу. Торф використовується в сільському господарстві і лише незначна його частина – як паливо.

Рудні корисні копалини

У надрах України залягають мінерали і породи, що містять різні метали – від алюмінію і заліза, які є найбільш поширеними у земній корі, до рідкісних елементів, що трапляються лише зрідка або розсіяні у невеликій кількості як домішки до інших мінералів. За запасами залізної, марганцевої, титанової та уранової руди Україна посідає перше місце серед країн Європи, за запасами ртутної руди – друге. Видобуток цих корисних копалин задовольняє не тільки потреби внутрішнього ринку, а й дозволяє широко експортувати руду по багатьом країнам Європи.

Руди чорних металів

Сумарна кількість запасів залізних руд в Україні становлять понад 27 млрд т. Україна володіє від 10 до 16 % розвіданих світових запасів заліза та від 20 % до 42 % марганцю. Головною відмінністю України від інших країн

Європи є вдале поєднання значних покладів залізних і марганцевих руд, з яких виплавляють чорні метали (чавун, сталь), та близьким розміщенням родовищ та покладів – більшість з них знаходяться в межах Дніпропетровської та суміжних областей.

Одним із найбільших у світі є Криворізький залізорудний басейн, що охоплює низку родовищ, які тягнуться смугою через Дніпропетровську, Кіровоградську та Миколаївську області. Найбільше значення для господарства мають багаті ($\text{Fe} \geq 46 \%$) і високоякісні руди – червоні залізняки (гематити), які майже не мають шкідливих домішок, які видобувають шахтним способом. Бідні руди (залізисті кварцити), що мають менший вміст заліза ($\text{Fe} \geq 20 \%$), розробляють відкритим способом.

Запаси марганцевих руд в Україні становлять понад 2,5 млрд тон. Зосереджені вони у Нікопольському марганцеворудному басейні, який за видобутком він посідає перше місце, а за запасами друге. До руд чорних металів належать також хромітові руди, невеликі поклади яких знайдено в Побужжі (Кіровоградська область).

Руди кольорових металів

Титан і його сплави належать до легких і стійких металів, а тому є необхідними матеріалами в авіа-, ракето- і кораблебудуванні, виробництві хімічних реакторів. Поклади титанових руд зосереджені в межах Українського щита. Найбільші розвідані родовища – Іршанське (Житомирська область) і Самотканське (Дніпропетровська область).

З кінця XIX ст. в Україні видобуваються ртутні руди на одному з найбільших в Європі Микитівському родовищі (Донецька область). Поклади ртутних руд є також у Закарпатті, але їх розробка припинена.

В Україні є багато родовищ руд кольорових металів, які ще не освоюються. Одні з них відкриті відносно недавно, й запаси металів там уточнюються, інші – добре досліджені і підготовлені до експлуатації. До таких належать родовища поліметалічних, алюмінієвих, хромітових руд, золота, молібдену, багатьох рідкісних металів. Серед родовищ поліметалічних

(свинцево-цинкових) руд найбільшим є Берегівське (Закарпатська область). Поклади алюмінієвих руд знайдено у Закарпатті, Придніпров'ї (Високопільське родовище) і Приазов'ї. Однак загальні запаси цих видів сировини незначні, тому їх видобуток не здійснюється. Є невеликі запаси нікелевих і кобальтових руд у Побужжі (Кіровоградська область) та Придніпров'ї.

Геологорозвідувальні роботи, проведені останніми роками, свідчать, що в надрах України наявні промислові запаси золота, срібла, міді, багатьох рідкісних і рідкісноземельних металів. Так, золото знайдено в Карпатському і Донецькому регіонах, на південних схилах Українського щита. На Закарпатті його видобували на Мужіївському родовищі. Великі запаси самородної міді виявлені та досліджуються на Волині.

Рідкісні та розсіяні метали

В Україні є родовища руд рідкісних металів – цирконію, гафнію, ніобію, літію, берилію, скандію, танталу, лантану, молібдену, стронцію. Ці метали та їх сплави використовуються в ядерній техніці, електротехніці, електроніці, авіаційному та космічному машинобудуванні. Наразі в Україні видобувають у великих обсягах цирконій та германій, у менших – скандій і гафній.

Особливе місце серед рудних корисних копалин посідають уранові руди. Вони є важливими паливно-енергетичними ресурсами. В Україні експлуатуються три уранові родовища, проте розвідано значно більше. Найбільше їх у Кіровоградській області, серед яких і Новокосянтинівське, що належить до провідних в світі за запасами. Сумарні запаси уранових руд, за якими Україна входить у 10 найкращих країн світу, які здатні забезпечити потреби діючих вітчизняних атомних електростанцій упродовж 100 років.

Нерудні корисні копалини

Нерудні корисні копалини є найбільш поширеними в Україні як за кількістю видів, так і за кількістю відкритих та освоєних родовищ. Цей факт пояснюється тим, що до цієї групи належать надзвичайно різноманітні за походженням породи й мінерали. Нерудні копалини мають дуже широке

застосування, а саме вони є сировиною для багатьох галузей промисловості, використовуються у будівництві, науці й техніці, побуті та медицині.

За запасами окремих нерудних корисних копалин, таких як сірка, облицювальний камінь та каолін, Україна посідає провідне місце серед країн Європейського союзу, а за запасами графіту – друге у світі.

Сировиною для хімічної промисловості є велика кількість нерудних корисних копал. Найбільш поширеними є сірка, кам'яна і калійна сіль, фосфорити та апатити.

Україна володіє великими запасами сірки. Сірка, що має осадове походження, знаходиться в Передкарпатському крайовому прогині Львівської області, де було виявлено понад 20 родовищ самородної сірки. Нині на більшості з них розробка сірки припинена. Родовища солей в Україні внаслідок тривалого видобутку так само сильно виснажені. Нині обсяги видобутку цих копалин різко зменшилися. З Передкарпатським прогином пов'язаний також єдиний в Україні басейн калійної солі.

Потужні поклади кухонної солі (у кам'яному вигляді) залягають в Донбасі, Дніпровсько-Донецькій западині й Закарпатті, а у вигляді природних підземних розсолів – у Передкарпатті. Найбільшими родовищами кам'яної солі, які вже тривалий час розробляються, є Артемівське і Слов'янське (Донецька область), Солотвинське (Закарпатська область). Значні запаси кухонної солі містяться у ропі солоних вод Азово-Чорноморського узбережжя та Криму.

Поклади фосфоритів і апатитів – сировини для виробництва хімічних добрив – загалом незначні і поки що не розробляються. Промислові запаси фосфоритів знайдено у Придніпров'ї, Придністров'ї, Сумській і Харківській областях, апатитів – у Житомирській і Запорізькій областях.

Родовища таких корисних копалин як барит, бор, бром, йод, давсоніт, фтор за запасами зазвичай малі. Розробка їх на сьогодні дуже обмежена через відсутність технологій для вилучення корисних компонентів.

Бішофіт або шестиводний магнезій хлорид ($\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) становить інтерес як сировина для отримання металевого магнезійу, застосовується також у

металургії, де використовується для виробництва вогнетривів, у технологічних процесах отримання титану, ванадію, хрому, а також в енергетичній, електротехнічній, нафтовій, харчовій, поліграфічній та легкій промисловості, у медицині й сільському господарстві.

Сапоніт (водний алюмосилікат магнію шаруватої будови, «гірське мило») – новий нетрадиційний вид корисної копалини з широким спектром використання в сільськогосподарському виробництві, хімічній промисловості, медицині, охороні навколишнього середовища. Поклади сапонітових глин виявлені на північно-західному схилі Українського щита, де детально вивчене одне – Варварівське родовище у Хмельницькій обл.

Україна володіє доволі значними запасами карбонатної сировини (вапняк і крейда) з високим вмістом карбонату кальцію (CaCO_3 до 98 %) для використання в хімічній промисловості, зокрема для виробництва соди. Загальні запаси крейди повністю задовольняють потреби власного содового виробництва. У виробництві цукру для очищення цукрових буряків використовуються міцні, хімічно чисті вапняки із вмістом CaCO_3 не менше 93 %.

До гірничо-хімічної сировини, розповсюдженої на території України, належать також сировина карбонатна для вапнування кислих ґрунтів (вапняк, мергель, крейда, доломіт з вмістом CaCO_3 не менше 75 %), сировина для виробництва мінеральних фарб (залізооксидні гематитові руди, вохра різного кольору, мумія), сировина карбонатна для кормових домішок (вапняки, крейда, ракуша з вмістом CaCO_3 не менше 85 %).

Надзвичайно багаті надра України на природні матеріали, які використовуються в будівельній галузі. Одні з них попередньо проходять суттєву промислову переробку, інші безпосередньо спрямовуються на будівництво.

Мергель, крейду, вапняк, глину використовують як сировину для виробництва цементу, глини – для виробництва цегли і черепиці. Гіпс, суглинки і вапняк йдуть на виготовлення в'язучих матеріалів, а пісок – як наповнювач до бетону. Багато також родовищ кам'яних будівельних матеріалів –

природного стінового каменю (туфи, вапняки), будівельного каміння (пісковики, базальти, граніти) та декоративно-облицювального каміння (граніти, габро, лабрадорити, базальти, мармур). Більшість родовищ облицювального каміння приурочена до Українського щита, найцінніші його види залягають у Житомирській, Рівненській, Хмельницькій, Запорізькій, Закарпатській областях. Їх видобувають у Рівненській і Дніпропетровській областях. Мармур розробляють у Закарпатті, Криму та Донбасі.

Серед розмаїття українського декоративного каменю особливу увагу привертають граніти. Вони мають різні кольори і відтінки, за якими отримали свою назву: червоні, червоно-жовті, рожево-червоні, темно-малинові, коричневі, сірі.

Нерудні корисні копалини є сировиною для різних галузей промисловості. Вогнетривкі глини, флюсові вапняки, доломіти, формувальні піски слугують металургійною нерудною сировиною, яка використовується при виплавці чорних металів. Їх видобувають здебільшого в Донбасі, Придніпров'ї, Криму. Скляні піски, керамічні глини, каолін, які мають в Україні значне поширення, є сировиною для виробництва скла, керамічних виробів, порцеляни і фаянсу. Україна володіє значними запасами каоліну, а за його видобутком (18 % світового) поступається лише США й Колумбії. Запаси високоякісних каолінів зосереджені в областях, які розташовані на Українському щиті.

Багатоцільове призначення має графіт. У надрах України сконцентрована 1/5 частина світових ресурсів графіту – понад 1 млрд т. Із 300 виявлених місць залягання графіту добре досліджено лише п'ять родовищ, одне з яких експлуатується. Його родовища також пов'язані з Українським щитом.

Є в Україні окремі родовища коштовного та напівкоштовного каміння. Воно залягає в Українських Карпатах і Кримських горах, Дніпровсько-Донецькій западині, а найбільш унікальні родовища знаходяться в межах Українського щита. Там знаходять димчастий кварц, гірський криштал, бурштин, топаз, берил, аметист, агат, яшму. У XX ст. траплялися знахідки алмазів, а нещодавно знайдено перспективні їх прояви у Приазов'ї та на

Волині. Волинські алмази, за оцінками фахівців, за якістю відповідають найвідомішим у світі якутським.

Займаючи площу в 0,4 % від світового суходолу, Україна наприкінці ХХ ст. давала до 5 % загальносвітового видобутку корисних копалин. Однак, навіть на сьогоднішній день запаси корисних копалин досліджено (розвідано) відносно слабо, тому можливості нарощування її мінерально-сировинної бази ще значні. Це підтверджують відкриття нових родовищ корисних копалин різних видів (як давно відомих в Україні, так і нетрадиційних для неї), які були здійснені вже у ХХІ ст. Геологи підраховали, що за різноманітністю та сумарною величиною запасів і прогнозних ресурсів корисних копалин Україна входить у першу десятку країн світу. Подальше проведення геологорозвідувальних робіт може суттєво зменшити залежність української економіки від імпорту сировини. Проте проведенню необхідних пошукових робіт часто перешкоджає брак коштів в країні.

3 АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА. СВІТОВИЙ ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Тема 3.1 Загальні питання

Характер взаємодії між людством і природою визначається насамперед людиною і антропогенним впливом на навколишнє середовище. Існуючі моделі розвитку суспільства визначають прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом економічного стану) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить більше трьох умовних тонн вугілля на рік (близько 100 ГДж), у США і Канаді цей показник утричі вищий (300 ГДж), але у більшості країн Африки – у 30–40 разів нижчий.

Проблеми використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) у різних галузях народного господарства почали розв'язуватися з другої половини ХХ ст. До цього спонукали кризові ситуації: світова енергетична криза 1973 р. і Чорнобильська катастрофа 1986 р., які змусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив практичного застосування НВДЕ.

У загальному випадку під нетрадиційними і поновлюваними джерелами енергії визначають джерела електричної і теплової енергії, що використовують енергетичні ресурси рік, водоймищ і промислових водостоків, енергію вітру, сонця, біомаси, стічних вод, твердих побутових відходів та ін.

Основні джерела поновлюваної енергії:

- сонячне випромінювання;
- гравітаційна взаємодія Сонця, Місяця і Землі, наслідком чого, наприклад, є морські припливи і відливи;
- тепла енергія ядра Землі, а також хімічних реакцій і радіоактивного розпаду в її надрах, які проявляються, зокрема, у вигляді геотермальної енергії джерел гарячої води – гейзерів.

Важливість використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії обумовлена тим, що населення Землі в даний час складає близько 7 млрд людей і зростає приблизно на 2–3 % у рік, за середнього споживання потужності на душу населення – 0,8 кВт. Національні розходження рівнів спожитої енергії змінюються від 10 кВт у США, до 4 кВт у країнах Європи та 0,1 кВт у Центральній Африці. Середні темпи росту національного доходу в країнах сучасного світу складають 2–5 % у рік. Щорічне підвищення споживання енергії з урахуванням росту населення повинно бути 4–8 %, що неможливо забезпечити без використання нових джерел енергії. Нарощування виробництва енергії такими темпами шляхом спалювання вуглеводневих палив веде до серйозних екологічних наслідків, зокрема, до появи парникового ефекту.

Інтерес до НВДЕ у всьому світі зумовлений двома негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики: швидким виснаженням природних ПЕР і забрудненням навколишнього середовища. За даними ООН, уже до середини ХХІ ст. можливе виснаження таких видів ПЕР, як нафта, газ і уран (U^{238}).

Особливу роль у виникненні ПЕР на Землі відіграє Сонце. Сонячна енергія протягом мільйонів років була рушійною силою виникнення родовищ нафти, газу та твердого палива. Одним з основних напрямів нетрадиційної енергетики є використання енергії Сонця прямими і непрямими методами.

Прямі методи використання сонячної енергії ґрунтуються на перетворенні променистої енергії Сонця на електричну і теплову, непрямі – дозволяють використовувати кінетичну і потенційну енергію, що виникає внаслідок сонячного випромінювання з біосфери. Це енергія вітру, біомаси (органічні відходи в господарській діяльності людини, енергетичні плантації), океанів і морів (наприклад, енергія припливів і відпливів, температурного градієнта великих товщ води), гідроенергія (великих та малих річок, що виступають як гідроакумулювальні системи).

Сумарний потенційний внесок усіх НВДЕ у світовий енергетичний баланс до кінця 2000 р. становив майже 10 %. Об'єм використання окремих видів НВДЕ

розподілявся так (млн тон у. п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання й опалення) – 36; геотермальна енергія – 29; енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7 (усього – 86 млн тон у. п.).

Енергетична криза 1970-х рр. і усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи зробили свою справу: світове співтовариство шукає «нову енергію», насамперед, у напрямі використання НВДЕ, об'єм яких до 2020 року повинен скласти 20 % (табл. 3.1) від загального виробництва (споживання).

Таблиця 3.1 – Виробництво теплової та електричної енергії в країнах ЄС на базі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії

Тип НВДЕ	Виробництво енергії, млн т н. е.		Загальні капітальні витрати у 1997–2000 рр., млрд доларів	Зниження викидів CO ₂ до 2010 р., млн т/рік
	1995 р.	2010 р.		
Вітроенергетика	0,350	6,90	34,56	72,0
Гідроенергетика	26,400	30,55	17,16	48,0
Фотоелектрична енергетика	0,002	0,26	10,80	3,0
Біомаса	44,800	135,00	100,80	255,0
Геотермальна енергетика	2,500	5,20	6,00	5,0
Сонячні теплові колектори	0,260	4,00	28,80	19,0
Усього	74,300	182,00	198,12	402,0
<i>Примітка.</i> Теплота згорання 1 т нафтового еквівалента (1 т н. е.) – $Q_H^p = 41,86$ ГДж				

Потреба і можливість розвитку в Україні цього напрямку зумовлені такими причинами:

- дефіцитом традиційних для України ПЕР;

– дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу України, орієнтованого, на централізоване електро- і теплопостачання та значне (понад 40 %) виробництво енергії на АЕС. Разом з тим, відсутнє власне виробництво ядерного палива, технології утилізації і переробки відходів АЕС, виробництв для модернізації устаткування діючих АЕС;

– наявністю науково-технічної і промислової бази, придатної для виробництва практично усіх видів устаткування нетрадиційної енергетики;

– сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання основних видів НВДЕ.

Виходячи з географічних, науково-економічних та екологічних факторів для України доцільно розглядати використання таких НВДЕ, як енергія Сонця, вітру, біомаси, малих рік, геотермальна енергія, ресурси яких подано в таблиці 3.2.

Використання відновлюваних джерел енергії дозволить знизити споживання дефіцитних для України нафтопродуктів (загальний об'єм приблизно 300 млн тон у. п./рік) на 5–6 %, зокрема завдяки використанню геліоресурсів – на 1,7 %, вітроенергії – на 2,8 %; геотермальної енергії – на 0,1 %; біогазу – на 0,2 %; гідроенергії рік – на 0,9 % (великих – 0,6 %, малих – 0,3 %).

Перевагою нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії є їх екологічна безпека та можливість локального використання в будь-якому районі. За даними ЮНЕСКО, приблизно 2 млрд людей на Землі мають обмежений доступ до електропостачання в силу відсутності розвинутих електричних мереж, а 2,4 млрд – до сучасних видів пального для приготування їжі та обігріву помешкань. Тому навіть активні прихильники випереджального розвитку ядерної енергетики у прогнозах на кінець XXI століття віддають поновлюваній енергії не менш 18 % загального споживання. Це, приблизно, стільки, скільки зараз людство одержує завдяки викопному паливу.

Таблиця 3.2 – Ресурси відновлюваних джерел енергії України

Джерело енергії	Теоретичний потенціал	Використання на початку ХХІ ст.		Технічний потенціал	
	МВт · год на рік	МВт · год на рік	т у. п.	МВт · год на рік	т у. п.
Геліоресурси	720×10^9	81×10^3	10×10^3	$0,13 \times 10^9$	$0,16 \times 10^9$
Вітроенергетика	965×10^9	$0,8 \times 10^3$	$0,096 \times 10^3$	$0,36 \times 10^9$	$40...70 \times 10^9$
Геотермальна енергетика	$5\,128 \times 10^9$	$0,4 \times 10^3$	$0,049 \times 10^3$	14×10^9	$1,7 \times 10^9$
Біоенергія с.-г. відходів	$12,5 \times 10^6$	$0,14 \times 10^3$	$0,002 \times 10^3$	$6,1 \times 10^6$	$0,73 \times 10^6$
Гідроенергетика, зокрема:	$42,4 \times 10^6$	$10,2 \times 10^6$	$1,22 \times 10^6$	$21,5 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$
велика	$25,0 \times 10^6$	$9,7 \times 10^6$	$1,16 \times 10^6$	$15,1 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$
мала	$17,4 \times 10^6$	$0,5 \times 10^6$	$0,06 \times 10^6$	$6,4 \times 10^6$	$0,8 \times 10^6$

Енергетична стратегія України на період до 2030 року, яка передбачає використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії в наростаючих масштабах. За обліком природних, географічних і метеорологічних умов перевага віддається малим гідроелектростанціям, вітроенергетичним установкам, біоенергетичним установкам, установкам для спалювання відходів рослинництва і побутових відходів, геліоводопідогрівачам. Потенціал цих джерел України оцінюється у 6 % від усієї розрахункової економії палива, що планується одержати завдяки енергозбереженню. Особливо підкреслюється, що вони дають реальну економію палива, відчутний соціальний ефект, значно поменшують негативний вплив енергетики на довкілля. Їхнє застосування символізує реальний перехід від марнотратної до раціональної економіки.

Тема 3.2 Геліоенергетика

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в його активному ядрі досягаються температури до 10^7 К. Поверхня Сонця має температуру близько 6 000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному

просторі і досягає поверхні Землі, з потужністю близько $1,2 \times 10^{11}$ Вт. Одержання такої енергії на протязі однієї години достатньо, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно 1 кВт/м^2 . Залежно від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії міняються від 3 МДж/м^2 до 30 МДж/м^2 у день (для різних населених районів).

Для створення комфортних умов життя одній людині, в середньому, потрібно приблизно 2 кВт на добу або приблизно 170 МДж енергії. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму – 10% та потік сонячної енергії – 17 МДж/м^2 у день, то необхідну для однієї людини енергію можна одержати з 100 м^2 площі земної поверхні. За середньої густини населення у містах на рівні 500 чоловік на 1 км^2 на одну людину приходить близько 2000 м^2 земної поверхні. Отже, достатньо всього 5% цієї площі, щоб завдяки сонячній енергії задовольнити енергетичні потреби людини.

Для характеристики сонячного випромінювання і взаємодії його з речовиною використовуються такі основні величини.

Потік випромінювання – енергія, що випромінюється електромагнітними хвилями за одну секунду через одиницю довільної поверхні [$\text{Дж/с} = \text{Вт}$].

Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) – відношення потоку випромінювання до площі поверхні, що опромінюється. Щільність потоку випромінювання від Сонця, що падає на перпендикулярну йому площадку поза земною атмосферою, ще називається *сонячною константою*.

Коефіцієнт поглинання – відношення потоку випромінювання, що поглинається поверхнею тіла, до потоку випромінювання, який падає на цю поверхню в тому же спектральному інтервалі. Залежить від частоти (довжини хвилі) випромінювання, природи і температури тіла. Тіло, для якого коефіцієнт поглинання дорівнює одиниці, поглинає все падаюче на нього випромінювання

і називається абсолютно чорним тілом.

Відбивна здатність тіла – відношення потоку випромінювання, відбитого поверхнею тіла, до потоку, падаючого на його поверхню. Для поверхонь, що розсіюють падаюче сонячне випромінювання, цю величину називають *альбедо*.

Сонячні водопідігрівники (геліоводопідігрівники). Перетворення сонячної енергії в теплову забезпечується завдяки здатності атомів речовини поглинати електромагнітне випромінювання. Енергія електромагнітного випромінювання перетворюється в кінетичну енергію атомів і молекул речовини, тобто в теплову енергію. Результатом цього є підвищення температури тіла.

Для енергетичних цілей найбільш розповсюджено використання сонячного випромінювання для нагрівання води в системах опалення і гарячого водопостачання. Основним елементом сонячної нагрівальної системи є приймач, у якому відбувається поглинання сонячного випромінювання і передача енергії рідини. Найбільш розповсюджені плоскі (нефокусуючі) приймачі, які дозволяють збирати як пряме, так і розсіяне випромінювання й, у силу цього, здатні працювати також і в хмарну погоду. Вони мають невисоку вартість і є кращими при нагріванні рідин до температур нижче 100 °С.

Підігрівники повітря. Сонячне випромінювання можна використовувати для підігріву повітря, просушування зерна, для обігріву будинків. Для останніх у кліматичній зоні України витрачається більше третини усіх первинних енергетичних ресурсів. Часткове розвантаження енергетики, пов'язане з проєктуванням чи перебудовою будинків шляхом використання сонячного тепла, дозволяє заощадити значну кількість енергоносіїв систем теплопостачання.

Теплопровідність повітря набагато нижче, ніж води. Тому нагрівачі такого типу виготовляють з шорсткуватими прийомними поверхнями, які мають велику площу теплообміну, що дозволяє завдяки турбулізації потоку значно підвищити інтенсивність тепловіддачі.

Сонячні системи для одержання електроенергії (сонячні електростанції). Концентрація сонячної енергії дозволяє одержувати

температури до 700 °С, що достатньо для роботи звичайного теплового двигуна з прийнятним коефіцієнтом корисної дії. Наприклад, параболічний концентратор з діаметром дзеркала 30 м дозволяє сконцентрувати потужність випромінювання порядку 700 кВт, що дає можливість одержати до 200 кВт електроенергії. Колектор передає сонячну енергію теплоносію (останній у цьому випадку може являти собою водяну пару високої температури), яка направляється в парову турбіну для вироблення електроенергії.

Для створення сонячних електростанцій великої потужності (порядку 10 МВт) можливі два варіанти: розосереджені колектори і системи з центральною сонячною вежею. Сонячна електростанція з розосередженими колекторами складається з безлічі невеликих концентруючих колекторів, кожний з яких незалежно стежить за Сонцем, передає енергію рідині (теплоносію), яка збирається від усіх колекторів в центральній енергостанції і надходить на турбіну електрогенератора. Сонячна електростанція з центральною вежею складається з плоских дзеркал, які розташовані на великій площі, стежать за Сонцем і відбивають сонячні промені на центральний приймач, розміщений на вершині вежі.

Акумулятори теплової енергії. Застосування описаних нижче стандартних нагрівачів виявляється занадто дорогим для нагрівання великих обсягів рідини до температур < 100 °С. У цьому випадку ефективно застосування «сонячного ставка», який становить оригінальний нагрівач, де теплозахисною поверхнею є вода. У «сонячний ставок» (достатньо велику водойму, яка може бути вирита просто в землі) заливається кілька шарів води різного ступеня солоності. Шар найбільшої солоності, товщиною приблизно 0,5 м, розташовується на дні і нагрівається завдяки сонячному випромінюванню, яке поглинається дном водойми.

Таким чином, у неоднорідній водоймі придонний шар води більш солоний, чим шар над ним, і його щільність хоча і зменшується при нагріванні, але залишається вище щільності більш високого шару. Відсутність конвекції, що спостерігається в цьому випадку, веде до того, що придонний шар нагрівається

усе сильніше. Використання розчинів, щільність яких підвищується при нагріванні, дозволяє мати стабільні сонячні ставки, в яких досягається рівноважна температура 90 °C и вище. Наприклад, сонячний ставок у Ейн-Бореке (Ізраїль) виробляє 150 кВт електроенергії з площі 0,74 га за вартості 0,1 долар США за 1 кВт · год.

Пряме перетворення сонячної енергії в електричну (фотоелектричні перетворювачі). Найбільш оптимальним є пряме перетворення сонячної енергії в електричну, що стає можливим при використанні *фотоефекту*.

Фотоефект – електричне явище, яке відбувається при освітленні речовини, а саме: вихід електронів з металів (фотоелектрична емісія чи зовнішній фотоефект); переміщення зарядів через границю розділу напівпровідників з різними типами провідності (р -n) (вентильний фотоефект); зміна електричної провідності (фотопровідність).

При освітленні границі розділу напівпровідників з різними типами провідності (р-n) між ними встановлюється різниця потенціалів (фото ЕДС). Це явище називається вентильним фотоефектом, на використанні якого засноване створення фотоелектричних перетворювачів енергії (сонячних елементів і батарей).

Сонячні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, котрий є відношенням падаючого на елемент потоку випромінювання до максимальної потужності електричної енергії, що виробляється. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10–15 % ,тобто при освітленості 1 кВт/м² виробляють електричну потужність 1–1,5 Вт з кожного квадратного дециметра.

Важливим показником, що характеризує можливість широкого використання фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну є вартість 1 Вт максимальної потужності, яка на сьогодні дорівнює 0,8 доларів США. При повній вартості сонячних елементів 4 долари США за 1Вт, допоміжної апаратури – 2 долари США за 1 Вт, опроміненні місцевості 20 МДж/м² у день та довговічності сонячних батарей 20 років вартість

електроенергії складе приблизно 16 центів США за 1 кВт · год (4,4 центи за МДж). Така цілком конкурентоздатна з вартістю електроенергії, що виробляються дизель-генераторами у віддалених районах, де вартість доставки палива й обслуговування різко зростає.

Основними компонентами сонячної енергетичної установки є сонячна батарея з приладами контролю і керування, акумуляторна батарея, інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в перемінний струм промислових параметрів, що споживається більшістю електричних пристроїв. Незважаючи на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність у нічний час, акумуляторна батарея шляхом накопичення електрики, яка виробляється сонячною батареєю, дозволяє забезпечити безупинну роботу сонячної енергетичної установки.

Тема 3.3 Вітроенергетика

Вітер – це рух повітряних мас земної атмосфери, викликаний перепадом температур в атмосфері через нерівномірне нагрівання її сонцем. Використання енергії вітру – перетворення енергії сонця на механічну. Пристрої, що в свою чергу, перетворюють енергію вітру в будь – яку іншу (механічну, теплову, електричну), називають вітроенергетичними установками (ВЕУ).

Інтерес до ВЕУ різко зріс після енергетичної кризи 1973 року, коли різко підвищилась ціна на нафтопродукти. З того часу побудовано велику частину вітроустановок з широким використанням досягнень аеродинаміки, механіки, мікроелектроніки для контролю і керування. Вітроустановки потужністю від декількох кіловатів до мегаватів виробляються в Європі, США й інших частинах світу. Велика частина з них використовується для виробництва електроенергії як у складі енергосистеми, так і автономно.

Одна з основних умов при проектуванні вітроустановок – забезпечення захисту від руйнування сильними випадковими поривами вітру. В середньому раз у 50 років у кожній місцевості бувають вітри зі швидкістю, яка у 5–10 разів

перевищує середню. Тому вітроустановки проєктують з великим запасом міцності, але максимальна проєктна потужність визначається для стандартної швидкості вітру, за яку зазвичай приймають 12 м/с.

У районах зі сприятливими вітровими умовами середньорічне виробництво електроенергії вітроустановками складає 25–35 % його максимального проєктного значення, термін експлуатації вітроустановок – 15–20 років, а вартість – від 1 000 до 1 500 доларів США за 1 кВт проєктної потужності. Офіційні оцінки можливої частки вітроенергетики в енергетиці, наприклад, у Великобританії і Західній Німеччині, що не передбачають яких-небудь серйозних змін у сформованій інфраструктурі енергоспоживання, складають не менш 20 %.

Автономні вітроустановки дуже перспективні для заміни дизельних електростанцій і опалювальних установок, що працюють на нафтопродуктах, особливо у віддалених районах, і можуть бути призначені для безпосереднього виконання механічної роботи (наприклад, приводу водяного насоса) або для виробництва електроенергії. В останньому випадку вони приводять в дію електрогенератор і разом з ними називаються вітрогенераторами.

Таблиця 3.3 – Параметри вітроенергетичних установок різної проєктної потужності за швидкості вітру 12 м/с

Клас ВЕУ	Розрахункова (проєктна потужність), кВт	Діаметр вітроколеса, м	Період обертання, с
Малі	10 25	6,4 10	0,3 0,4
Середні	50 100 150	14 20 25	0,6 0,9 1,1
Великі	250 500 1 000	32 49 64	1,4 2,1 3,1
Дуже великі	2 000 3 000 4 000	90 110 130	3,9 4,8 5,7

Принцип дії і класифікація ВЕУ. Як уже було сказано, у вітроенергетичних установках енергія вітру перетворюється на механічну енергію робочих органів. Первинним і основним з них є вітроколесо, що

безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, перетворює її в кінетичну енергію обертання.

Вітроустановки класифікуються по двох основних ознаках: геометрії вітроколеса і його положенні щодо напрямку вітру. Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою, якщо перпендикулярна – вертикально-осьовою.

Виробництво електроенергії ВЕУ. Використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним засобом утилізації енергії вітру. Вимоги до показників частоти та напруги електроенергії, яка виробляється ВЕУ, залежать від особливостей споживачів. Ці вимоги доволі тверді під час роботи ВЕУ у межах єдиної енергетичної системи і доволі м'які – за використання енергії вітроустановок в освітлювальних та нагрівних установках.

Основними елементами вітроелектрогенераторів є: власне вітроустановка, електрогенератор, система керування параметрами генерувальної електроенергії в залежності від змінювання сили вітру та швидкості обертання колеса. Для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ потрібні акумулятори електричної енергії або необхідно запаралелення з електроенергетичним обладнанням інших типів, тому що неминучі періоди безвітря.

Одним із засобів керування електроенергією вітру є випрямлення перемінного струму ВЕУ, а потім перетворення його в перемінний струм з заданими стабілізованими параметрами.

Тема 3.4 Гідроенергетика

Загальні положення. Термін «гідроенергетика» визначає галузь енергетики, де використовується енергія потоку води, що рухається, яка перетворюється в механічну або, найчастіше, в електричну. Крім гідроенергетики водними джерелами енергії є також морські хвилі і припливи.

Умови експлуатації ГЕС (рівномірний режим роботи при відсутності екстремальних температурних і інших навантажень) сприяють їх багаторічній роботі (50 років і більше). Внаслідок цього вони працюють з високим економічним ефектом, і вартість електроенергії, доволі низька (приблизно 4 центи США за 1 кВт). Електроенергію, яку вироблюють ГЕС, доволі легко регулювати, що важливо при її використанні в енергосистемах з великими коливаннями навантаження.

Сумарна потужність гідравлічних турбін зараз зростає в усьому світі приблизно на 5 % у рік, тобто подвоюється кожні 15 років. Потенційні можливості гідроенергетики найбільш великі в Африці, Китаї і Південній Америці, де оцінюються в $1,5 \times 10^6$ МВт. Потужність усіх ГЕС на кінець минулого століття складала приблизно 500 000 МВт, велика частина з яких мала потужність більш 10 МВт.

Проблемами гідроенергетики є: збиток, який наноситься навколишньому середовищу (особливо від затоплення великих площ при створенні водоймищ), заїлювання гребель, корозія гідротурбін і великі капітальні витрати на спорудження в порівнянні з тепловими електростанціями. Тому зараз перспективним є використання гідроенергетичних ресурсів малих рік без створення штучних водоймищ.

Основні принципи використання енергії води

Основним робочим органом гідроенергетичної установки, що безпосередньо перетворює енергію води у кінетичну енергію обертання, є гідротурбіна, коефіцієнт корисної дії якої складає до 90 %.

Гідротурбіни бувають двох типів:

- активні, робоче колесо яких обертається в повітрі, завдяки потоку води, що натікає на його лопаті;
- реактивні, робоче колесо яких цілком занурено у воду й обертається здебільшого завдяки різниці тисків перед і за колесом;
- ККД реальних турбін коливається від 50 % – для невеликих енергоустановок до 90 % – для великих.

Енергія хвиль і приливів. Величезну кількість енергії можна одержати від морських хвиль. Потужність, що переноситься хвилями на глибокій воді, пропорційна квадрату їх амплітуди і періоду. Тому найбільший інтерес становлять довгоперіодні (період порядку 10 с) хвилі з великою амплітудою (близько 2 м), які дозволяють знімати з одиниці довжини гребеня в середньому 50–70 кВт/м.

Існує безліч технічних рішень, що дозволяють реалізувати можливість перетворення енергії хвиль в електроенергію. В останні роки інтерес до хвильової енергетики різко підсилюється, особливо в Японії, Великобританії, країнах Скандинавії, де експерименти переросли в стадію реалізації. Сучасна тенденція розробки таких установок орієнтована на одиничні модулі помірної потужності (близько 1 МВт) розміром порядку 50 м уздовж фронту хвилі.

У результаті хвильового руху рідини в хвилі одночасно зі зміною положення рівня і нахилу поверхні відбувається зміна кінетичної і потенційної енергії, зміна тиску під хвилею. На основі використання однієї характерної ознаки хвильового руху чи їхньої комбінації вже створена велика кількість різних пристроїв, що поглинають і перетворюють хвильову енергію.

Енергія припливів приховує в собі великі потенційні можливості. Приливні коливання рівня у величезних океанах планети цілком передбачувані і пов'язані з гравітаційним впливом Місяця на водяні масиви Землі. Основні періоди цих коливань – добові (тривалістю близько 24 год) і півдобові (близько 12 год 25 хв). Різниця між послідовними найвищим і найнижчим рівнями води складає 0,5–10 м (висота припливу). Під час припливів і відливів переміщення водяних мас утворює приливні плинні, швидкість яких у прибережних протоках і між островами може досягати 5 м/с.

Перетворення енергії припливів використовувалося для приведення в дію порівняно малопотужних пристроїв ще в середньовічній Англії й Китаї. Із сучасних приливних електростанцій найбільш відома великомасштабна електростанція Ранс потужністю 240 МВт (Бретань, Франція) і невелика, але принципово важлива, дослідна станція потужністю 400 кВт у Кислій Губі на узбережжі Баренцева моря.

Перетворення теплової енергії океану в механічну. Світовий океан – найбільший природний колектор сонячного випромінювання. У ньому між теплими поверхневими водами, що поглинають сонячне випромінювання, і більш холодними придонними досягається різниця температур у 20 °С. Це забезпечує безупинно поповнюваний запас теплової енергії, яка принципово може бути перетворена в інші види. Установка, що дозволяє здійснити процес такого перетворення, являє собою теплові машини, що приводяться в дію різницею температур між «холодною» водою, піднятою з глибини океану, і «гарячою», забраною з поверхні. Робоча рідина (робоче тіло) циркулює за замкнутою схемою, відбирає тепло від «гарячої» води в теплообміннику випарника, а в паровій фазі приводить в дію турбіну, що зв'язана з генератором, а потім конденсується в охолоджуваному «холодною» водою конденсаторі.

Тема 3.5 Біоенергетика

Складний комплекс речовин, з яких складаються рослини і тварини, прийнято називати біомасою, основа якої – органічні сполуки вуглецю. Унікальна роль вуглецю в живій природі обумовлена його властивостями, якими в сукупності не володіє жоден інший хімічний елемент. Між атомами вуглецю, а також між вуглецем і іншими хімічними елементами утворюються міцні хімічні зв'язки, які можуть бути розірвані у відповідних фізіологічних умовах. Органічні сполуки вуглецю в процесі з'єднання з киснем при згорянні чи в процесі природного метаболізму виділяють тепло.

Промислове використання енергії біомаси може бути дуже значним. Наприклад, завдяки відходам виробництва цукру в країнах, що його поставляють, покривається до 40 % потреб у паливі. Застосування біопалива у вигляді дров, гною і бадилля рослин має першочергове значення в домашнім господарстві приблизно 50 % населення планети. Але для того щоб розглядати біомасу як поновлюване джерело енергії, необхідно забезпечити її виробництво принаймні на одному рівні зі споживанням. Для людства страшно те, що в даний час витрата деревного палива значно випереджає його відтворення.

Чиста питома енергія, яку можна одержати при спалюванні, коливається від 10 МДж/кг (сира деревина) до 40 МДж/кг (жири, нафтоподібні речовини) і 55 МДж/кг для метану. Теплота згоряння сухої біомаси, що є власне кажучи вуглеводами, складає близько 20 МДж/кг. Концепція Енергетичної програми України до 2030 року передбачає перелік великомасштабних заходів в галузі біоенергетики. Вважається, що застосування біоенергетичних установок по переробці відходів тваринництва дозволить істотно поліпшити екологічний стан поблизу великих тваринницьких комплексів, де зібрана величезна кількість непереробної біомаси. Крім того, можна розраховувати на одержання високоякісних органічних добрив і шляхом виробництва біогазу забезпечити економію традиційного палива.

Щорічно накопичується велика кількість твердих побутових відходів, які направляються на смітники і сміттєпереробні заводи. Потенційна енергія, укладена в них, еквівалентна сотням тисяч тон умовного палива. Відзначимо, що у світовій практиці одержання енергії з твердих побутових відходів здійснюється в основному спалюванням і газифікацією. У Японії, Данії і Швейцарії спалюється близько 70 %, у Німеччині – 30 %, Італії – 25 %, США – близько 14 %.

Класифікація основних типів енергетичних процесів, пов'язаних із переробкою біомаси:

Термохімічні процеси

1. Пряме спалювання для отримання теплоти.
2. Піроліз. Біомасу нагрівають або в умовах відсутності повітря або завдяки згорянню деякої її частини при обмеженому доступі повітря чи кисню. Склад продуктів, що виходять при цьому, надзвичайно різноманітний: гази, рідина, олія, деревне вугілля. Зміна складу продуктів піролізу залежить від температурних умов, типу сировини, що вводиться в процес, способів ведення процесу. Якщо основним продуктом піролізу є пальний газ, то процес називається газифікацією, а установки для його одержання - газогенераторами. КПД піролізу визначається як відношення теплоти згоряння похідного палива до теплоти згоряння вихідної біомаси і досягає рівня 80–90 %. Види палива, що одержують в результаті піролізу, мають трохи меншу сумарну енергію згоряння

порівняно із вихідною біомасою, але мають більшу універсальність застосування: кращу керованість горіння; велику зручність в обертанні і транспортуванні, широкий діапазон можливих устроїв-споживачів, менший вплив на навколишнє середовище при згорянні.

3. Гідрогенізація. Подрібнену, що розклалася, або переварену біомасу, наприклад, гній, нагрівають в атмосфері водню до температури близько 600 °С за тиску близько 5 МПа (50 атм). Одержувані пальні гази, переважно метан та етан, під час спалювання дають близько 6 МДж на 1 кг сухої сировини.

Біохімічні процеси

1. Анаеробна переробка. Під час відсутності кисню деякі мікроорганізми здатні одержувати енергію, безпосередньо переробляючи вуглеродоутримувальні складові. Виробляється суміш вуглекислого газу, метану і побічних газів, що називається біогазом.

2. Одержання біогазу. Економічно виправдано, коли відповідний біогазогенератор переробляє існуючі потоки відходів, прикладами яких можуть служити стоки каналізаційних систем, тваринницьких ферм тощо. Одержання біогазу, що можливо в установках самих різних масштабів, особливо ефективно на агропромислових комплексах, де доцільна реалізація повного екологічного циклу. У таких комплексах гній піддають анаеробному бродінню. Біогаз використовують для освітлення, приведення в дію машин і механізмів, електрогенераторів, для обігріву приміщень. Оброблені відходи використовуються як високоякісні добрива.

3. Спиртова ферментація. Етиловий спирт – летке рідке паливо, яке можна використовувати замість бензину. Він виробляється мікроорганізмами в процесі ферментації. Як сировину зазвичай використовують цукор.

Агрохімічні процеси

Екстракція палив. У деяких випадках рідкі чи тверді різновиди палив можуть бути отримані прямо від тварин чи рослин. Наприклад, сік живих рослин збирають шляхом надрізання шкірки, стебел або стовбурів. Зі свіжозрізаних рослин його видавлюють під пресом. Добре відомий подібний процес одержання каучуку.

4 КЛАСИФІКАЦІЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СИРОВИНИ ТА МЕТОДИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

Тема 4.1 Сучасний стан проблеми промислових відходів

Визначення основних термінів і понять (ДСТУ – 4462.0.01:2005):

– *відходи* – будь-які речовини, матеріали й предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення, та яких їх власник повинен позбутися, утилізацією чи видаленням;

– *небезпечні відходи* – відходи, що мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для довкілля і здоров'я людини та які потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними;

– *токсичні відходи* – різновид небезпечних відходів із вмістом речовин з такими властивостями, що можуть створити небезпеку для живих організмів як безпосередньо під час контактування з ними, так і в майбутньому;

– *поводження з відходами* – дії, спрямовані на запобігання або обмеження утворенню відходів, їх збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізація, видалення, знешкодження, зокрема контролювання за цими операціями та наглядання за місцями видалення;

– *зберігання відходів* – тимчасове (до 2-х років) розміщення відходів (до їх утилізації чи видалення);

– *видалення відходів* – здійснення виробничих процесів чи операцій, які не пов'язані і не призводять до утилізації відходів (видалення спрямоване на знищення відходів або їх захоронення в місцях чи об'єктах поводження з відходами);

– *захоронення відходів* – різновид видалення відходів, що полягає в здійсненні технологічних процесів чи виконанні робіт, які забезпечують остаточне розміщення відходів;

– *утилізація відходів* – отримання з відходів матеріалів, які призначені для використання для тих чи інших цілей, а також для вироблення енергії, як палива, зокрема для біогазифікування;

– *регенерування відходів* – різновид переробки відходів, що полягає в відновлюванні корисних властивостей відхідного матеріалу для використання їх як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів;

– *знешкодження відходів* – різновид обробки відходів, який полягає у здійсненні механічних, фізичних, хімічних чи біологічних процесів, які спрямовані на зміну й переведення небезпечних складників відходів у безпечні форми;

– *техногенне родовище* – об’єкт накопичення відходів, які утворилися під час видобування, збагачення, хіміко-металургійного та іншої переробки корисних копалин, та оцінені як техногенна мінеральна сировина чи паливо, запаси яких затверджені в встановленому порядку.

Законодавча та нормативна бази у сфері поводження з відходами

Основні Закони України:

- 1) «Про відходи» № 187/98 від 05.03.1998;
- 2) «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції» № 1393-XIV від 14.01.2000;
- 3) «Про перевезення небезпечних вантажів» № 1644-III від 06.04.2000;
- 4) «Про металобрухт» № 2114-III від 16.11.2000;
- 5) «Про пестициди та агрохімікати» № 86/95-ВР від 02.03.1995;
- 6) «Про поводження з радіоактивними відходами» № 255/95-ВР від 30.06.1995.

Нормативні документи:

1. ДСТУ 2195-99 (ГОСТ 17.9.0.2-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, виклад і правила внесення змін (введений в дію від 2001–01–01 на зміну ДСТУ 2195-93 (ГОСТ 17.0.0.05-93).

2. ДСТУ 3052-95. Ресурсозбереження. Порядок установлення показників ресурсозбереження в документації на продукцію. Введений в дію 1997–01–01.

3. ДСТУ 3910-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій. Введений в дію вперше 2001–01–01.

4. ДСТУ 3911-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги. Введений в дію вперше 2001–01–01.

5. ДСТУ 4462.0.01:2005. Охорона природи. Поводження з відходами. Терміни та визначення понять. Введений в дію вперше. Чинний від 2006–07–01.

6. ДСТУ 4462.0.02:2005. Охорона природи. Комплекс стандартів у сфері поведінки з відходами. Введений в дію вперше 2006–07–01.

7. СНиП 2.01.28-85. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию.

8. ДСанПіН 2.2.7. 029-99. «Гігієнічні вимоги щодо поведінки з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» від 1999–01–07.

9. ДК 005 «Класифікатор відходів» (КВ) чинний від 2000–30–03.

10. Довідково-методичні настанови щодо застосування ДК 005 «Класифікатор відходів».

Тема 4.2 Сучасні проблеми, які пов'язані з промисловими відходами

Утворення, розміщення, збирання, перевезення, зберігання, утилізація, знешкодження і видалення відходів стали для розвинених країн однією з найбільш пріоритетних проблем, від вирішення яких залежить стан навколишнього середовища.

В Україні в результаті утворення великих обсягів небезпечних відходів, зазначена проблема набула особливої гостроти.

Наприклад, у 2015 році в Україні утворено понад 312 млн тон відходів, зокрема 587 тис. тон відходів I–III класів небезпеки. Загальний обсяг відходів,

накопичених протягом експлуатації, у місцях видалення відходів становить 12,5 млрд тон.

Утилізація та знешкодження відходів проводить незначна кількість підприємств, які фактично не забезпечені належною технологічною базою. Основну масу відходів видаляють до відвалів, териконів, шламо-, і хвостосховищ, звалищ, полігонів та інших накопичувачів, яких вже нараховують декілька тисяч. Для цих накопичувачів відчужують значні площі земельних угідь, а також на більшій частині їх не забезпечена надійна ізоляція навколишнього середовища від забруднення.

Найбільшу кількість складають розкривні, які вміщують шахтні породи видобування, хвости збагачення руд, вугілля, металургійні шлаки, шлами хімічних, гальванічних виробництв, горіла земля тощо. За категоріями матеріалів найбільшу кількість у 2015 році становили відходи рослинного походження, осад промислових стоків, хімічні відходи, відходи чорних металів, відходи тваринного походження та змішані харчові відходи тощо.

У багатьох випадках відходи містять у своєму складі чорні, кольорові, рідкісні, благородні метали, а також нерудну сировину. Серед них, насамперед, відходи гальванічних виробництв, чорної і кольорової металургії, хімічної промисловості тощо. Накопичувачі таких відходів розцінюють як техногенні родовища.

В Україні проводиться обстеження таких родовищ з метою виявлення обсягів відходів, їх складу, властивостей, впливу на довкілля.

Гальванічні відходи складають домінуючу частку відходів 1–3 класів небезпеки. Вони утворюються на багатьох підприємствах. Одночасно вони відносяться до цінних ВМР. Утилізація цієї категорії відходів стримується відсутністю опрацьованих технологій, а також сукупним розміщенням з іншими видами відходів у місцях їх видалення. Вирішення цієї проблеми може бути орієнтоване на створення на підприємствах ділянок з утилізації та знешкодження зазначених відходів, а також спеціалізованих підприємств із

запровадженням на них відповідних технологій знешкодження та утилізації відходів з вилученням з них цінних компонентів.

Особливу групу дуже небезпечних відходів складають непридатні та заборонені до застосування пестициди та отрутохімікати, хлорорганічні сполуки, бензапірен, формальдегіди тощо. Переважну частину їх вивозять на непристосовані звалища; іноді їх зберігають на території підприємств у випадкових приміщеннях, а подекуди, й просто неба. Для вирішення цієї актуальної проблеми потрібно як створення спеціалізованих підприємств зі знешкодження цих відходів, так і використання низки енергетичних агрегатів на діючих підприємствах (наприклад, цементних обертових печей, а також деяких типів котлів для спалювання зазначеної категорії відходів).

Деякі відходи містять у своєму складі водорозчинні сполуки. Накопичувачі таких відходів, які не мають необхідного захисту довкілля, призводять до засолення ґрунтів, підземних та поверхневих вод. Ця проблема може бути вирішена шляхом удосконалення технології видобутку корисних копалин, що виключає підйом на поверхню таких відходів.

Значну кількість відходів, які утворюються на багатьох підприємствах у невеликому обсягу, складають різноманітні відходи: пил та шлами з систем газоочищення промислових агрегатів, шлам з очисних споруд стічних вод, забаластовані відходи, що містять нафтопродукти, відходи лаків, фарб, емалей, кубові залишки, шліфувальні, полімерні, паперові, гумові відходи, відпрацьовані ртутні лампи і лампи розжарювання, будівельні відходи (багато їх утворюється при знесенні будівель і споруд) тощо.

Для переробки зазначених відходів необхідно створювати спеціалізовані підприємства або комплекси, які будуть здійснювати збір відходів та одночасно утилізувати декілька видів їх з урахуванням особливостей і властивостей, та енергетичного потенціалу їх горючих компонентів. Спеціалізовані комплекси мають мати у своєму складі стаціонарне технологічне обладнання та пересувну транспортабельну техніку.

Вирішення проблеми у сфері поводження з небезпечними відходами на високому технологічному рівні також потребує створення відповідної нормативної бази, яка повинна передбачити встановлення таких основних нормативів:

- граничні показники утворення відходів у технологічних процесах;
- питомі показники утворення відходів, використання та втрат сировини у технологічних процесах;
- періодичний перегляд встановлених нормативів утворення та розміщення відходів, що спрямований на зменшення їх обсягів, з урахуванням передового вітчизняного й зарубіжного досвіду та економічних можливостей;
- встановлення на основі затверджених нормативів лімітів на утворення та розміщення відходів;
- вимоги до спеціалізованого транспорту, споруд розміщення й захоронення відходів.

Плату за розміщення відходів встановлюють залежно від рівня небезпеки відходів та цінності території, на якій їх розміщують. За понадлімітне розміщення відходів плату стягують у підвищеному розмірі. У цілому основні напрями у сфері поводження з промисловими відходами можна визначити такою послідовністю:

- *запобігання та обмеження* утворення промислових відходів шляхом удосконалення існуючих технологій у напрямку підвищення використання сировини і зменшення обсягу та рівня небезпеки відходів, а також шляхом розроблення і впровадження новітніх технологій, що забезпечать мінімізування їхнього утворення;
- *утилізація, регенерування відходів*. До цієї групи поводження з відходами, насамперед, відносять заходи, які спрямовані на повернення відходів безпосередньо до технологічного процесу виробництва. Також утилізацію відходів можна здійснювати через реконструкцію виробництва, або спорудження нових ділянок утилізації відходів безпосередньо на підприємствах, та через створення спеціалізованих підприємств і комплексів,

що збирають відходи від підприємств, на яких вони утворюються в невеликих кількостях. Важливим напрямком поводження з відходами є впровадження технологій та устаткування для вилучення цінних компонентів з відходів на підприємствах, де вони утворюються, або на спеціалізованих підприємствах. Велике значення має впровадження каскадних схем організації виробництва в промислових зонах і регіонах, де відходи одних підприємств є сировиною для інших;

- *знешкодження відходів*, що не підлягають утилізації, можна здійснювати на підприємствах, де вони утворюються, або на спеціалізованих підприємствах механічним, термічним, хімічним, біологічним способами;

- *екологічно безпечне видалення відходів*. Будівництво місць розміщення відходів, довгострокового захоронення небезпечних відходів в спеціально відведених місцях чи об'єктах з подальшою можливістю утилізації чи знешкодження;

- *очищення забруднених відходами територій і рекультивація земель і об'єктів накопичення відходів*.

Тема 4.3 Джерела утворення відходів, класифікація й методи їхньої переробки

З розвитком гірничодобувної, металургійної й інших галузей промисловості на території багатьох міст України почали розміщатися відвали розкривних і шахтних порід, шлаків, шламосховища. Наприклад, у Донецьку існують численні терикони відвальних порід вугільних шахт, у Маріуполі – відвали шлаків, шламосховища, у Харкові – відвали горілої формувальної землі, шламосховища. У той же час виробничі відходи є багатим джерелом дешевої сировини, практично готової для виробництва будівельних матеріалів.

Промислові відходи утворюються при видобутку корисних копалин, їхньому збагаченні, переробці сировинного концентрату і використанні готового продукту.

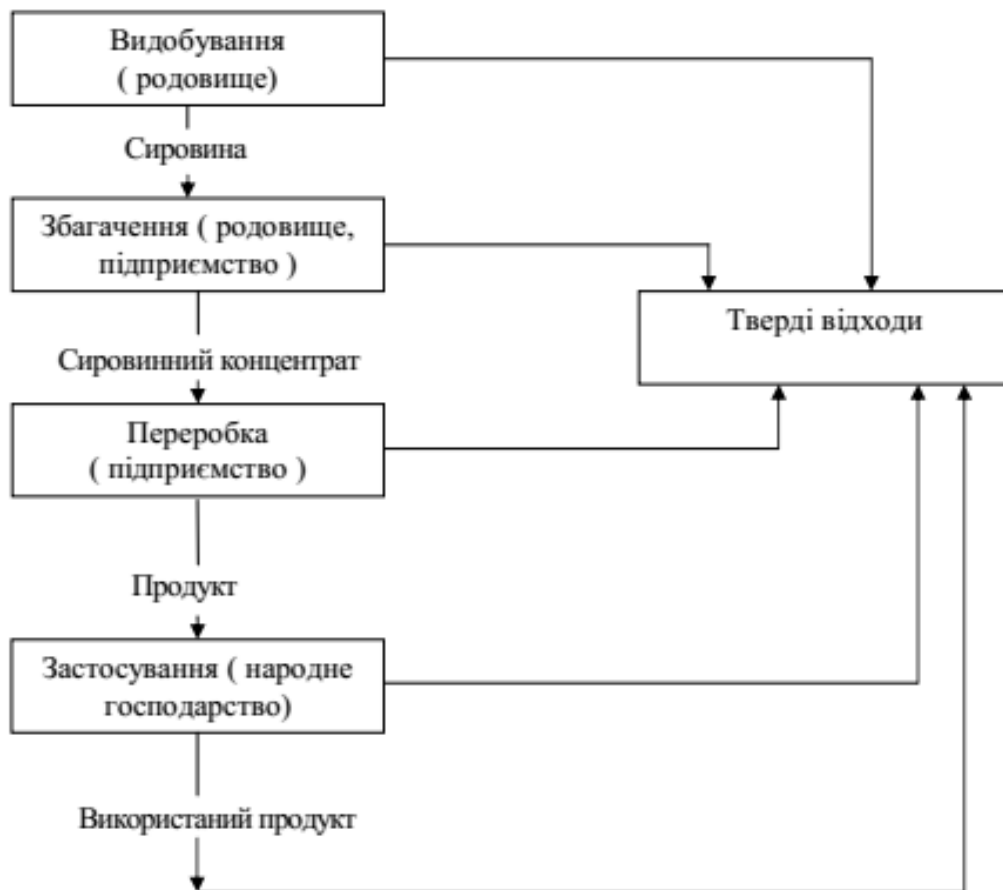


Рисунок 4.1 – Загальна схема утворення промислових відходів

До відходів видобутку корисних копалин відносяться породи, що попутно добуваються – розкривні, шахтні, вміщуючи. Основна маса порід утворюється при видобутку руд чорних і кольорових металів.

Різні відходи утворюються при переробці сировинного концентрату в продукцію на кожній технологічній операції в результаті фізико-хімічних процесів, що протікають при звичайних чи високих температурах. На деяких підприємствах утворюється більш 200 найменувань відходів основного і допоміжного виробництв, наприклад, доменні, феросплавні і сталеплавильні шлаки, зола, паливні шлаки, фуси, кисла смолка, кислі гудрони та ін. Відходи споживання утворюються при використанні готової продукції.

До них відносяться, наприклад, металобрухт, устаткування, що вийшло з ладу, вироби технічного призначення з гуми, пластмас, скла та ін.

Класифікація твердих промислових відходів виконується за такими ознаками:

- *за галузями промисловості* – відходи паливної, металургійної, хімічної та іншої галузей;
- *за конкретними виробництвами* – відходи сірчанокислового, содового, фосфорнокислого й інших виробництв;
- *за агрегатним станом* – тверді, рідкі, газоподібні;
- *за горючістю* – пальні й непальні;
- *за методами переробки*;
- *за можливостями переробки* – вторинні матеріальні ресурси (ВМР), що перероблюються чи плануються надалі переробляти, і відходи, що на даному етапі розвитку економіки переробляти недоцільно;
- *за небезпекою* – промислові відходи підрозділяються на чотири класи небезпеки (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Класи небезпеки промислових відходів

Клас	Характеристика відходів
Перший	Надзвичайно небезпечні
Другий	Високо небезпечні
Третій	Помірно небезпечні
Четвертий	Мало небезпечні

Клас небезпеки відходів встановлюється залежно від вмісту в них високотоксичних речовин розрахунковим методом чи відповідно до переліку відходів, наведеному в Державному класифікаторі відходів. На усі види відходів розробляється технічний паспорт відповідно до міждержавного стандарту ДСТУ 2195-93.

Тема 4.4 Методи підготовки і переробки твердих відходів

Для утилізації і знешкодження промислових відходів найбільш поширеними є такі методи підготовки і перероблення: подрібнення шматків, укрупнення розмірів частинок, класифікація й сортування, збагачення, термічна обробка, вилуговування, зневоднювання (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Методи підготовки і переробки відходів

Подрібнення відходів. Залежно від властивостей і розміру шматків початкового матеріалу і кінцевого продукту застосовують різне устаткування.

Основними методами подрібнення є подрібнення і помел. *Подрібнення* широко використовують за переробки скельних відходів видобування корисних копалин, металургійних шлаків, гумотехнічних виробів, що вийшли з ладу, відходів пластмас й інших відходів. Для подрібнення використовують щоківі, конусні, валкові, роторні дробарки різних типів. Розмір шматків до подрібнення може складати від 20 мм до 1 000 мм, після подрібнення – 1–250 мм. *Помел* матеріалів розміром 1–5 мм здійснюють мокрим і сухим способами за допомогою млинів різного типу. Розмір частинок після помелу може складати

0,001–0,1 мм; помел застосовують під час переробки паливних і металургійних шлаків, відходів вуглезбагачення, деяких виробничих шлаків і та ін.

Укрупнення розмірів частинок використовують у ході підготовки до переплавлення дисперсних відходів чорних і кольорових металів, утилізації пластмас, сажі, пилу, піритних огарків, переробці на будівельні матеріали відходів збагачення і та ін. Укрупнення розмірів дрібнодисперсних матеріалів здійснюють методами гранулювання, таблетування, брикетування, високотемпературної агломерації.

Гранулювання здійснюють обкочуванням і пресуванням у грануляторах різних конструкцій. Продуктивність цих апаратів і характеристики грануляторів залежать від властивостей початкових матеріалів, сполук, конструктивних факторів.

Таблетування відходів здійснюють за допомогою машин різних типів, принцип дії яких заснований на пресуванні матеріалів, що дозуються в матричні канали. Таблетки випускають у вигляді циліндрів, сфер, дисків, кілець і т. п.

Брикетування застосовують з метою додавання відходам компактності, зменшення їх об'єму, поліпшування умов транспортування, зберігання. Брикетування здійснюють за допомогою пресів різних конструкцій. Щільні брикети деревних відходів можна використовувати як тверде паливо. За спалювання брикетів підвищується теплота згорання тирси і стружок. Пресування металевої стружки приводить до зниження втрат металу на вигар.

Високотемпературну агломерацію здійснюють за допомогою агломераційних машин і використовують при укрупненні дисперсних відходів, які містять залізо: окалину, пил, шлами, піритні огарки. Для проведення агломерації таких ВМР готують шихту, що включає тверде паливо, концентрат, флюси, відходи. Під час горіння палива відбувається спікання мінеральних компонентів шихти. Спечений концентрат подрібнюють до потрібних розмірів, просівають, дрібні фракції повертають на агломерацію.

Класифікація і сортування за фракціями здійснюють просіюванням і грохотуванням шляхом використання різних конструкцій сит, решіток, грохотів; гідравлічній і повітряній сепарації за допомогою гідроциклонів, спіральних класифікаторів.

Збагачення здійснюють виділенням одного або декількох компонентів із загальної маси відходів. Найпоширенішими способами збагачення є: флотація, гравітаційний, електричний і магнітний.

Гравітаційний спосіб збагачення заснований на відмінності щільності і швидкості падіння частинок збагачуваного матеріалу в рідкому або повітряному середовищі. Ці способи розділяють на промивання, збагачення відсадкою частинок та рухом їх водою в протилежних напрямках, а також розподілом у важких рідинах.

Спосіб флотації заснований на різній змочуваності поверхонь частинок водою. Тонкоподрібнені відходи обробляють водою, до якої додають флотаційні реагенти, що підсилюють відмінність в змочуваності частинок рудного мінералу і пустої породи. Як реагенти використовують мастила, жирні кислоти і їх солі, меркаптани, аміни і та ін. Ефект розділення флотацією залежить від насичення води бульбашками повітря, що прилипають до зерен тих мінералів, які погано змочуються, при цьому вони стають більш легкими і виносяться на поверхню, відділяючись від добре змочених частинок. Залежно від характеру насичення води повітрям розрізняють напірну, барботажну (пінну), електричну, біологічну й хімічну флотації.

Магнітний спосіб збагачення заснований на розділенні матеріалів за магнітними властивостями. Його застосовують у тому випадку, якщо відходи містять металеві включення. Матеріали спочатку подрібнюють, класифікують, деякі обпалюють. Збагачення матеріалів розміром частинок до 3 мм здійснюють сухим способом, дрібніше 3 мм – мокрим. Використовують магнітні сепаратори різноманітних типів.

Електричний спосіб збагачення заснований на відмінності електрофізичних властивостей матеріалів, що розділяються. Таким способом

збагачують рудну сировину, відходи, що містять домішки кольорових металів, формувальні суміші, пісок для скляної промисловості тощо. Для цього використовують електричні сепаратори. За контакту із поверхнею зарядженого металевого електроду частинки збагачуваного матеріалу отримують заряд, розмір якого залежить від електропровідності частинок. Наелектризовані частинки направляють в електричне поле, де відбувається їх сепарація.

Термічний спосіб переробки і знешкодження відходів. До нього відносять піроліз, газифікацію, вогняний спосіб.

Піроліз – процес розкладання органічних сполук під дією високих температур за відсутності або недостатньої кількості кисню. У результаті піролізу утворюються: піролізний газ, смоли і твердий вуглецевий залишок (сажа, активоване вугілля і та ін.). Кількість і якість продуктів піролізу залежать від складу відходів і температури процесу. Методом піролізу переробляють відходи пластмас, гуми, шлами нафтопереробки і та ін. Залежно від температури розрізняють три види піролізу:

- *низькотемпературний піроліз* (450–550 °C) за якого досягають максимального виходу смол і твердого залишку, а також мінімального виходу піролізного газу з високою теплотою згорання;

- *середньотемпературний піроліз* (до 800 °C) за якого вихід газу збільшується зменшенням його теплоти згорання, а вихід смол і твердого залишку – зменшується;

- *високотемпературний піроліз* (900–1 050 °C) за якого вихід рідких продуктів і твердого залишку мінімальний, а вихід піролізних газів з невисокою теплотою згорання максимальний. Розроблені й інші методи високотемпературного піролізу при температурах до 1 700 °C.

Піролізу підлягають відходи пластмас, гуми, шлами нафтопереробки та ін. Продукти піролізу можуть широко використовуватися в народному господарстві. Основними компонентами піролізного газу є: водень, метан і оксид вуглецю. Піролізний газ має переваги перед природним, оскільки не містить сполук сірки і майже наполовину складається з водню. Твердий

продукт піролізу (сажу), використовують у виробництві гумотехнічних виробів, пластмас, друкарських фарб, пігментів.

Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічних сполук з агентами, що газифікують, внаслідок чого органічні сполуки перетворюються на горючий газ. Як агенти застосовують повітря, водяну пару, діоксид вуглецю, а також їх суміші. Процеси піролізу набули більшого поширення, ніж газифікація.

Вогняний спосіб знешкодження і переробки відходів полягає в спалюванні горючих відходів і вогняній обробці негорючих відходів. Цей спосіб включає переплавлення, наприклад, металобрухту, відходів термопластів, відвальних металургійних шлаків, випалювання піритних огарків і залізовмісних шлаків, спікання гальванічних шлаків тощо.

Спосіб вилуговування заснований на вилученні одного або декількох компонентів з комплексного твердого матеріалу шляхом їх виборчого розчинення в рідині-екстрагенті (розчиннику). Цей спосіб використовують під час вилучення металів зі шлаків, піритних огарків, відходів гірничодобувної промисловості; лігніну з відходів деревини і т. д. Залежно від характеру фізико-хімічних процесів, що протікають за вилуговування, розрізняють просте розчинення і вилуговування з хімічною реакцією. Швидкість вилуговування залежить від концентрації реагентів, температури, інтенсивності перемішування, розмірів поверхні твердої фази й інших чинників.

Основним способом механічного зневоднення є *фільтрування, центрифугування і пропускання пульпи через гідроциклон.*

Для *фільтрування* відходів зазвичай використовують вакуум-фільтри і фільтр-преси. Фільтруючим середовищем є фільтрувальна тканина і шар осаду, що прилипає до тканини і створює в процесі фільтрування додатковий фільтруючий шар, який забезпечує затримування найдрібніших частинок суспензії. Найбільшого поширення набули барабанні, стрічкові, дискові вакуум-фільтри, а також фільтр-преси, віброфільтри.

Центрифугування забезпечує високий ступінь зневоднення пульпи. Промисловість випускає різні типи центрифуг, які застосовують для різноманітних відходів.

Для згущування й зневоднення осадів на очисних спорудах середніх і малих підприємств набули поширення гідроциклони, які застосовують зазвичай в комбінації з бункерами-ущільнювачами.

Тема 4.5 Технології видалення промислових відходів

Залежно від стану твердих відходів, що утворюються, розрізняють *гідралічний і сухий* способи розміщення їх.

Гідралічний спосіб застосовують: для відходів, що утворюються за мокрого способу збагачення; для пилу, золи ТЕС, які затримують мокрим способом; для шламів та інших промислових відходів, що насичені водою.

Цей спосіб полягає в транспортуванні пульпи трубопроводами (пульповодами) за допомогою насосів і випуску її до сховища.

Пульпою називають суміш твердих частинок і води. Основною характеристикою її є консистенція — співвідношення маси твердих частинок і рідини ($T : P$), яка залежить від типу відходів, технології утворення і може коливатися у великих межах (наприклад, від 1 : 1 до 1 : 30 і більше).

Сховища відходів — це гідровідвали, хвостосховища, шламосховища, шламонакопичувачі і т. д. Залежно від топографічних умов місцевості розрізняють такі типи сховищ: балочні, заплавні, косогірні, рівнинні, улоговинні. Для створення місткості будь-якого типу сховища, окрім, улоговинного, потрібно спорудження огорожувальних дамб, або гребель.

Балочні сховища влаштовують в балках або ярах, які перегороджують дамбою, або греблею; заплавні і косогірні — огороженням дамбами з двох-трьох сторін залежно від рельєфу, рівнинні сховища огорожують по периметру.

Сховище містить у своєму складі огорожувальну дамбу, надводний пляж, ставок-відстійник, підводний пляж, пульповоди, водоскидні колодязі, водоспускні колектори, дренажну канаву, насосні станції.

Заповнення хвостосховища може бути одностороннім або кільцевим. За одностороннього заповнювання скид пульпи здійснюють від дамби до берегів, за кільцевого – по периметру дамби. Конструкція огорожувальної дамби залежить від рельєфу місцевості, порід основи, об'єму сховища. Під час її спорудження максимально використовують відходи.

Сховища відходів займають великі території нерідко сільськогосподарських земель. У них відбувається утворення пилу на поверхнях надводних підсохлих пляжів, спостерігається підтоплення прилеглих територій і забруднення підземних вод.

Сухий спосіб розміщення відходів залежить від виду транспорту, який використовують. Для промислових підприємств найбільшого поширення набув автомобільний транспорт. У гірничодобувній промисловості за великої відстані транспортування використовують також залізничний транспорт.

Відвалоутворення відходів вуглевидобування проводять також за допомогою вагонеток (скипів), що перекидаються, а також за допомогою канатних підвісних доріг, конвеєрного транспорту.

За використання автомобільного й залізничного транспорту відвали можуть бути плоскими, платоподібними, одноярусними, багатоярусними, терасованими висотою 30–100 м. Відсипання проводять шарами товщиною 1–1,5 м з ущільненням самим автотранспортом шляхом декількох проходок або ущільнюючими катками.

Відвали із застосуванням стрічкових конвеєрів забезпечують велику продуктивність. Найбільшого поширення набули відвали з поступово подовженими стрічковими конвеєрами і консольним секторним поворотом.

Відвали з канатними підвісними дорогами влаштовують за допомогою зворотно-поступового руху вагонеток. Одна вагонетка знаходиться на навантаженні, інша – на розвантаженні.

Відвали можуть бути конусні, які формуються на одній кінцевій щоглі; штабельні за допомогою декількох щогл; однопроменеві і багатопроменеві. Висота відвалів зазвичай складає 15–30 м.

Відвальний метод розміщення відходів вимагає великих первинних капітальних витрат на спорудження щогл. За відсипання відвалів на повну висоту без пошарового ущільнення відбувається сегрегація матеріалу – розділення за розмірами складових по висоті відвалу: у верхній частині відкладаються дрібніші й легші фракції матеріалу, а вниз – скочуються більші й важчі.

5 ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Тема 5.1 Використання відходів паливно-енергетичного комплексу

Основними видами твердого палива є кам'яне й буре вугілля. Переважну частину вугілля в Україні видобувають підземним способом. Відходи видобування вугілля є розкривними, вміщуючими або шахтними породами залежно від способу розробки. За підземного способу видобування вилучається менше попутних порід, ніж за відкритого, але й вони складають значні об'єми. Так, наприклад, на одну тону вугілля за відкритого видобування утворюється до 3–5 тон розкривних порід, за підземного – до 0,2–0,3 тон шахтних.

Відходи видобування мають неоднорідний хімічний і мінералогічний склад. Це осадові породи: глина, суглинки, супіски, аргіліти, алевроліти, пісковики, глинисті і піскуваті сланці, вапняки. Найбільше в їх складі аргілітів (до 60 %). Крім того, вони містять у своєму складі: вугілля (до 20 %), сірку, вміст якої пропорційний вмісту вугілля; у невеликих кількостях – кольорові, рідкісні метали; у кількостях слідів радіонукліди – уран, торій.

Відвали займають великі площі земель, піддаються водній і вітровій ерозії, забруднюють прилеглу територію. Значну шкоду природному середовищу наносить самозаймання териконів. Основною причиною самозаймання є окислення сірки, що супроводжується виділенням великої кількості тепла, яке акумулюється в порах порід і забезпечує спалах горючих матеріалів. В окремих відвалах ці процеси проходять настільки інтенсивно, що відвальні породи розігріваються до високих температур і горять з виділенням значної кількості вуглеводнів, сажі, оксидів азоту, діоксиду сірки, вуглецю і та ін. Навколо відвалів влаштовують захисні зони, що призводить до збільшення площі відчужуваних земель. Основними заходами щодо попередження самозаймання породних відвалів є обмеження притоку кисню і зменшення кількості горючих компонентів у відвальній породі. З цією метою в деяких

країнах проводять додаткове вилучення вугілля за допомогою спеціального обладнання на групових відвалах.

Для зниження притоку кисню відвали ущільнюють. Цього можна досягти шляхом подрібнення породи, ущільнюванням її під час відсіпання за допомогою автотранспорту, катків, вібраторів, влаштуванням глинистих екранів, обробкою порід суспензіями вапна, вапняку, глини. Такі відвали рекомендують споруджувати плоскими. Породи в них ущільнюють шарами товщиною 1–1,5 м, а по периметру влаштовують дамби з інертних матеріалів.

Тверді відходи вуглевидобування можна використовувати:

- як низькосортне паливо (за певного вмісті горючих складових);
- як компоненти, що підвищують родючість ґрунтів;
- як сировину у виробництві будівельних матеріалів. Проте через неоднорідність складу, утилізація їх складна і не завжди економічно виправдана;
- перспективним напрямом утилізації порід, що містять вуглецеву речовину, є їх газифікація. Газифікації доцільно піддавати свіжу породу, що містить 20 % і більше горючих речовин. Під час цього додатково отримують енергетичне паливо, а зольний залишок можна використовувати для виробництва будівельних матеріалів;
- у світовій практиці відходи вуглевидобування використовують для закладання вироблених шахтних забоїв. Розроблені технології закладання без підйому породи наверх.

Особливу групу відходів вуглевидобування складають горілі породи, що обгоріли в надрах землі під час природних підземних пожеж у вугільних пластах і аналогічні їм відвальні шахтні породи, які перегоріли. За основними фізико-хімічними властивостями вони близькі до глини, що обпалена за температур 800–1 000 °С. Вміст палива в природних горілих породах досягає 2–3 %; у відвальних горілих породах його може бути значно більше. Горілі породи можна широко використовувати у виробництві будівельних матеріалів.

Вони, як й інші обпалені глинисті матеріали, мають гідравлічну активність і можуть використовуватися:

- для виробництва безклінкерних вапняно-глинітних і сульфатно-глинітних в'язучих. Вапняно-глинітні в'язучі отримують спільним тонким помелом горілих порід і вапна з невеликою добавкою гіпсу. Вони містять у своєму складі 10–30 % вапна залежно від активності горілої породи, до 5 % гіпсу, решта – горіла порода. Сульфатно-глинітні в'язучі отримують спільним помелом двоводного гіпсу (50–65 %), горілої породи (15–40 %) і портландцементного клінкеру (10–20 %). Такі в'язучі застосовують для виробництва низькомарочних бетонів і розчинів;

- як гідравлічні добавки в кількості до 20 % до портландцементу і 25–40 % до пуцоланового цементу;

- для виробництва щебеню, пористих заповнювачів (аглопориту і керамзиту), для влаштування дорожніх основ під покриття, насипів і т. д.;

- у бетонах, асфальтобетонах, розчинах як крупні і дрібні заповнювачі та цемент на основі горілих порід. Широке використання горілих порід ускладнюється через їх неоднорідність і вміст незгорілого палива.

Відходи збагачення вугілля

Відходи вуглезбагачення утворюються під час збагачення вугілля для коксування, промисловості, енергетичних й інших цілей і є сумішшю осадових порід, частинок вугілля і вугільно-мінеральних зростків. До їх складу входять у різних співвідношеннях (залежно від району видобування): глина, аргіліти, сланці, алевроліти, пісковики, вапняки, кальцити. Вміст вугілля може досягати 15–20 %. Крім того, у відходах містяться: сірка, мікроелементи — свинець, цинк, молібден, галій, германій і та ін. За зерновим складом відходи збагачення розділяють на породи збагачення розміром частинок від 0,5 мм до 200 мм, що утворюються за гравітаційного збагачення вугілля (переважний вміст фракцій 5–40 мм), і хвости флотації розміром частинок < 0,5 мм, що утворюються за збагачення методом флотації. Розміщують відходи в гідровідвалах або у хвостосховищах. Хвости флотації порівняно з породами вуглевидобування

більш однорідні за складом, містять до 20 % органічної речовини, мікроелементи.

Відходи вуглезбагачення можна використовувати:

- як енергетичну сировину шляхом спалювання або газифікації (більш раціонально відправляти їх на вторинне збагачення);
- для виробництва будівельних матеріалів – керамічних виробів (цегли, плитки, черепиці), де відходи застосовують як пісню і вигоряючу добавки до сировини або як основну сировину;
- для виробництва легких пористих заповнювачів – аглопориту і керамзиту (переважно – аглопориту);
- для будівництва вторинних дамб на хвостосховищах;
- для вилучення рідкісних розсіяних елементів;
- як добрива в сільському господарстві за суворого контролю складу.

Незважаючи на багаторічні дослідження, тривалі експерименти і економічні розрахунки, що підтверджують доцільність утилізації відходів вуглезбагачення, в нашій країні їх використовують незначно.

Золошлакові відходи. Золошлакові відходи утворюються під час спалювання твердого палива в топках теплових електростанцій за температур у топковій камері 1 200–1 700 °С. Вихід золошлакових відходів залежить від виду палива і складає: у бурому вугіллі 10–15 %, у кам'яному – 3–40 %, у горючих сланцях – 50–80 %; у мазуті – 0,15–0,20 %.

Паливо спалюють у вигляді дрібних шматків або в пилоподібному стані, відходи утворюються, відповідно, у вигляді шлаку або золи. Золю уловлюють за допомогою води в спеціальних бункерах і видаляють у вигляді пульпи гідротранспортом до золовідвалів. Шлаки гранулюють шляхом швидкого охолодження водою і видаляють у відвали сухим або гідравлічним способом разом із золою. Зола є тонкодисперсним матеріалом і складається з частинок розміром 0,005–0,1 мм. Розмір частинок шлаку – 20–30 мм.

Хімічний склад золошлакових відходів залежить від мінеральної складової палива і коливається залежно від родовища вугілля. Наприклад, вміст

основних оксидів в золошлакових відходах: SiO_2 – 37–63 %, Al_2O_3 – 9–37 %, Fe_2O_3 – 4–17 %, CaO – 1–32 %, MgO – 0,1–5%, SO_3 – 0,05–2,5 %. У золі присутнє незгоріле паливо у кількості до 6–7 % і більше. У шлаках зазвичай воно відсутнє. У золошлакових відходах також концентруються радіонукліди, тому для виробництва будівельних матеріалів необхідно здійснювати контроль їхнього вмісту.

Під час оцінки золошлакових відходів (як сировини для будівельних матеріалів) важливою характеристикою їх хімічного складу є співвідношення основних і кислотних оксидів – модуль основності: $M_o = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$. За $M_o > 1$ шлаки відносяться до основних, за $M_o < 1$ – до кислих. Більшість золошлаків ТЕС – кислі.

Істинна густина золошлаків (залежно від хімічно-мінералогічного складу) коливається в межах 1 800–2 400 кг/м³, насипна – 600–1 100 кг/м³. Зола і шлак є великотоннажними відходами. Так, наприклад, теплова електростанція потужністю 1 млн кВт на добу спалює близько 10 000 т вугілля. За цього утворюється близько 1 000 т золи і шлаку. Золошлакові відвали займають великі площі земель, забруднюють ґрунти, поверхневі та підземні води й особливо – повітряний басейн. Золошлакові відходи є цінною вторинною мінеральною сировиною. Зола і шлак мають гідравлічну активність і можуть використовуватися:

- для виробництва безклінкерних в'язучих, з яких найбільш відомий вапняно-зольний цемент, що отримують спільним помелом золи й вапна. Склад вапняно-зольного цементу залежить від вмісту в золі активного оксиду кальцію; оптимальна кількість вапна в цьому цементі складає 10–40 %;

- для виробництва цементу: як добавки до сировини під час виробництва портландцементу. Присутність у складі золи незгорілого палива приводить до зниження його витрати; як активну добавку до готового портландцементу додають до 15 % тонкомеленого золошлаку, до пуцоланового – до 25–40 %. Введення золи до цементу знижує його міцність у початкові терміни твердіння, а за тривалих термінів твердіння міцність цементу із золою стає вищою;

– для виробництва легких пористих заповнювачів. Паливні шлаки і зола є сировиною для виробництва пористого заповнювача – аглопориту (керамзиту). Керамзит отримують спученням і спіканням в печах гранул, сформованих із суміші глини, яка спучується, і золи;

– шлаки використовують для виробництва щебеню. Шлаки повинні бути стійкі проти розпаду. Під час повільного охолодження шлаків разом з утворенням мінералів можуть відбуватися поліморфні перетворювання, що призводить до розпаду і самочинного перетворення шматків шлаку в порошок. Шлаки рекомендують застосовувати після стабілізації зернового складу, тобто після тривалого (3–6 місяців) вилежування у відвалах. Унаслідок цього в них гаситься вільний кальцію оксид, частково вилугуюються солі і окислюються паливні залишки;

– доведена ефективність введення золи у кількості до 20–30 % замість цементу під час виготовлення бетонів і розчинів. Особливо доцільно введення золи до бетону гідротехнічних споруд. Наприклад, зола використовувалася під час будівництва Дністровського гідровузла і Братської ГЕС;

– для виробництва легких бетонів. Дрібний заповнювач у бетонах може бути замінений золою. Як крупний заповнювач також застосовують щебінь з паливних шлаків, аглопорит або керамзит на основі золи;

– для виробництва силікатної цегли, замість вапна і піску. Витрати вапна знижуються на 10–50 %, піску – на 20–30 %. Така цегла має нижчу густину, ніж звичайна;

– як пісна і вигоряюча добавки у виробництві керамічних виробів на основі глинистих матеріалів; як основну сировину для виробництва зольної кераміки. Зокрема, на звичайному устаткуванні цегляних заводів може бути виготовлена зольна кераміка з маси, що складається із золи, шлаку, натрієвого рідкого скла в кількості 3 % за об'ємом. Зольна кераміка характеризується високою кислотостійкістю, низьким стиранням, високою хімічною і термічною стійкістю;

– для виробництва шлакової пемзи і вати;

- одним з основних споживачів паливного шлаку є дорожнє будівництво, де його використовують як засипку під час спорудження основи доріг, для приготування асфальтобетону;
- золу використовують як наповнювач для виробництва мастик рулонних покрівельних матеріалів;
- на золовідвалах золошлакові відходи використовують для спорудження вторинних дамб. Не дивлячись на очевидні вигоди і перспективи широкого застосування золошлакових відходів, об'єм їх використання у нашій країні не перевищує 10 %. Утилізація золи і шлаків вимагає вирішення цілого комплексу питань – від розробки технічних умов на їх застосування, технологічних ліній з їх переробки, транспортних і навантажувально-розвантажувальних засобів – до перебудови психології господарників відносно використання вторинних мінеральних ресурсів.

Тема 5.2 Утилізація відходів металургійного комплексу

Відходи видобування залізної руди у нашій країні присутні у великій кількості. Найбільш поширеним способом видобування залізної руди є відкритий – створення кар'єрів глибиною до 300 м і більш. Разом з розробленням з кар'єру вилучають й розміщують у відвалах величезні маси розкривних і вміщуючих порід, обсяги яких складають 30–70 % від рудної маси, яку добувають. Найбільша кількість порід, що попутно добувається, – це кристалічні сланці, кварцити, роговики й інші близькі до них скельні породи. Серед розкривних порід є і нескельні, в основному осадові – глини, піски, суглинки, вапняки й ін.

Скельні породи, попередньо розрихлені вибуховим способом, розробляють екскаваторами і видаляють у відвали автомобільним або залізничним транспортом. За гранулометричним складом відвальні скельні породи є неоднорідним матеріалом від пилоподібних і піщаних фракцій до глиб розміром 1 м. Переважний гранулометричний склад – 10–200 мм. Істинна

густина цих порід залежить від вмісту заліза і знаходиться в межах 2 600–4 100 кг/м³, середня – 3 000 кг/м³.

Основним напрямом утилізації розкривних скельних і нескельних порід є використання їх для спорудження дамб обвалування, гребель, насипів, основ доріг, для планувальних робіт, а також для виробництва будівельних матеріалів.

Скельні породи широко використовують для виробництва щебеню, який застосовують як крупний заповнювач у важких і особливо важких бетонах. На багатьох гірничо-збагачувальних комбінатах України побудовані щебеневі комплекси. Об'єми утворення цих відходів перевищують масштаби можливого переробки й основним напрямом їх використання є зворотна засипка і рекультивація кар'єрів.

Відходи збагачення залізної руди. Відходи збагачення залізної руди – хвости, утворюються під час отримання залізного концентрату методами електромагнітної або магнітної сепарації. Для розкриття і подальшого вилучення рудних мінералів руду піддають подрібнюванню. Тонкість подрібнювання залежить від технології збагачення, характеру і вмісту руди у сировині. Об'єми відходів складають 40–60 % від об'єму збагачуваного матеріалу.

Хвостове господарство – один з найдорожчих об'єктів збагачувального комплексу. Частинки хвостів мають необкочену і неправильну форму. Окрім пустої породи, у хвостах присутні частинки залізовмісних мінералів, кількість яких може досягати 15–20 %. Хвости є незв'язним матеріалом, середньозважений діаметр частинок коливається в межах 0,005–0,2 мм, переважають частинки розміром 0,07–0,005 мм. Істинна густина коливається в межах 2 600–4 000 кг/м³, середня – 3 000 кг/м³. Видаляють хвости в хвостосховища гідравлічним способом у вигляді пульпи за співвідношення тверде : рідке від 1 : 10 до 1 : 30.

Під час скидання пульпи в хвостосховище на надводних пляжах відбувається фракціонування хвостів за густиною і крупністю. У зонах, що

близькі до випуску, відкладаються найкрупніші і важчі частинки, вміст заліза в цих зонах може перевищувати 30 %. По суті хвостосховища є техногенними родовищами корисних копалин, освоєння яких проводиться за допомогою прогресивних технологій збагачення. Технологія скидання пульпи повинна формувати зони з підвищеним вмістом заліза.

Хвостосховища займають величезні площі, підтоплюють прилеглі території, забруднюють підземні води. Надводні пляжі, що підсихають, створюють інтенсивне пиління.

Хвости збагачення використовують для спорудження вторинних дамб на хвостосховищах, також можна використовувати їх як вторинну сировину для виробництва будівельних матеріалів: піски з відходів збагачення в будівельних розчинах, як дрібні заповнювачі у важких і особливо важких бетонах, для спорудження штучних основ під дороги, будівлі, споруди, для зворотних засипок тощо.

Металургійні шлаки. Металургійні шлаки утворюються під час виплавляння металів і є продуктами високотемпературної взаємодії руди, пустої породи, флюсів, палива. Їх склад залежить від цих компонентів, виду металу, що виплавляється, і особливостей металургійного процесу.

Металургійні шлаки підрозділяють на шлаки чорної і кольорової металургії.

Шлаки чорної металургії. Залежно від характеру процесу і типу печей шлаки чорної металургії поділяють на доменні, сталеплавильні (мартенівські, конвертерні, електроплавильні), феросплавні, вагранкові).

Вихід доменних шлаків на 1 т чавуну складає 0,6–0,7 т; під час виплавляння 1 т сталі – 0,1–0,3 т.

Хімічний склад доменних шлаків: CaO – 29–30 %, MgO – 0–18 %, Al_2O_3 – 5–23 % і SiO_2 – 30–40 %. У невеликій кількості в них містяться оксиди заліза (0,2–0,6 %), марганцю (0,3–1 %), а також сірка (0,5–3,1 %).

Сталеплавильні шлаки характеризуються вищим вмістом оксидів заліза (до 20 %) і марганцю (до 10 %).

Також, як і паливні шлаки, металургійні поділяють на кислі і основні – залежно від модулю основності. Більшість металургійних шлаків – основні.

Оксиди, що входять до складу шлаків, утворюють різноманітні мінерали, такі як силікати, алюмосилікати, ферити і та ін.

Шлаки мають високу істинну густину – середнє значення 2 900–3 000 кг/м³, густину шматка – 2 200–2 800 кг/м³, велику пористість, високу морозостійкість, низьке стирання.

Найбільш поширеним способом переробки доменних шлаків є грануляція – різке охолодження водою, парою або повітрям. Утилізація доменних шлаків у нашій країні складає близько 60 %, сталеплавильних – близько 30 %.

Основні напрямки утилізація шлаків:

– основним споживачем доменних гранульованих шлаків є цементна промисловість, в якій також можливе використання поволі охолоджених сталеплавильних шлаків, шлаків феросплавів і шлаків кольорової металургії. Шлакові в'язучі підрозділяють на: безклінкерні (сульфатно-шлакові і вапняно-шлакові), шлаколужні і шлакопортландцемент. Сульфатно-шлакові в'язучі одержують спільним помелом доменних гранульованих шлаків (75–85 %), гіпсу (10–15 %) і невеликої добавки вапна (2 %) або портландцементного клінкеру. Такі в'язучі відрізняються хімічною стійкістю і їх використовують в агресивному середовищі;

– вапняно-шлаковий цемент отримують спільним помелом доменного гранульованого шлаку, вапна (10–30 %) і гіпсу (5 %). Цей цемент за міцністю поступається сульфатно-шлаковому, має нижчу морозостійкість, але відрізняється високою стійкістю в агресивних водах;

– гранульовані доменні шлаки використовують як добавки до сировини (до 20 %) замість глини у виробництві портландцементу або як активні добавки до портландцементного клінкеру;

– широкого поширення набув шлакопортландцемент – гідравлічне в'язуче, яке отримують спільним тонким помелом доменного гранульованого

шлаку (20–80 %), портландцементного клінкеру і невеликої кількості гіпсу. Собівартість такого цементу знижується на 25–30 % порівняно із портландцементом. Шлакопортландцемент залежно від вмісту шлаку використовують як звичайний цемент або як стійкий до дії агресивних вод;

– шлаколужний цемент – це гідравлічне в'язуче, яке отримують спільним помелом доменних гранульованих шлаків і лужних компонентів — кальцинованої або каустичної соди, рідкого скла (до 2–5 % від маси шлаку). Замість лужних компонентів можна використовувати відходи їх виробництва. Шлаколужні в'язучі мають високу міцність, водостійкість, водонепроникність, хімічну стійкість, біостійкість і термостійкість. Бетони з такого цементу володіють перерахованими перевагами, крім того, вони стійкі до дії бензину й інших нафтопродуктів і слабких розчинів органічних кислот. Вони здатні тверднути за негативних температур. Шлаколужний цемент використовують у будівництві, а також для знешкодження радіоактивних і токсичних відходів, що містять важкі метали (шлами гальванічного виробництва, шлами водоочищення, золошлакові відходи термічного знешкодження);

– з металургійних шлаків отримують шлаковий щебінь шляхом дроблення відвальних металургійних шлаків або за спеціальною технологією виготовляють литий щебінь. Під час виробництва цього матеріалу вогняно-рідкий шлаковий розплав з шлаковозних ковшів розливають шарами товщиною 250–500 мм на спеціальні ливарні майданчики або траншеї. Через 2–3 години він кристалізується на відкритому повітрі, потім його охолоджують водою, що призводить до розвитку тріщин. Шлакові масиви розробляють екскаваторами з подальшим дробленням і грохотуванням;

– металургійні шлаки використовують для виробництва шлакової вати і шлакової пемзи, які отримують спучуванням шлакового розплаву за швидкого охолодження водою, повітрям, а також під дією мінеральних газоутворювачів. Застосовують ці матеріали як ізоляційні. Із шлакової пемзи виробляють також легкий фракційний щебінь шляхом дроблення і грохотування;

– у будівництві застосовують різні типи бетонів з в'язучими і заповнювачами на основі металургійних шлаків. Для особливо важких і важких бетонів (густиною 1 800–2 600 кг/м³) як крупні заповнювачі використовують литий або відвальний щебінь, як дрібний заповнювач — гранульований доменний шлак. У виробництві легких шлакових бетонів як крупний заповнювач використовують щебінь на основі шлакової пемзи. Шлаковий щебінь застосовують також у дорожньому будівництві для спорудження основ доріг і асфальтобетонних покриттів;

– з розплавлених металургійних шлаків відливають камені для мощення доріг і підлог промислових будівель, бордюрний камінь, протикорозійні плитки, труби й інші вироби. Щодо зносо- та жаростійкості, ряду інших властивостей шлакове лиття перевищує залізобетон і сталь;

– металургійні шлаки використовують для виробництва шлакоситалів. Виробництво їх полягає у варінні шлакового скла, формуванні і подальшій кристалізації виробів. Шихта для отримання ситалів складається з шлаку, піску, лужновмісних й інших домішок. Шлакоситали характеризуються високими фізико-механічними властивостями, оскільки вони такі ж міцні, як, наприклад, чавун або сталь, але шлакоситали втричі легші. Їх легко обробляти, шліфувати, різати, свердлити. Шлакоситали широко застосовують у будівництві. Плитами з листового шлакоситалу облицьовують цоколі й фасади будівель, обробляють внутрішні стіни і перегородки, виконують з них огорожі балконів, сходові марші, підвіконня, підлоги промислових будівель, виготовляють труби, високовольтні ізолятори й інші вироби;

– найбільшим споживачем шлаків є промислова гідротехніка, де шлаки можна використовувати для спорудження дамб шламонакопичувачів, закріплення укосів дамб, каналів, спорудження морських причалів, протифільтраційних заходів тощо.

Тема 5.3 Утилізація відходів машинобудівного комплексу

Відходи гальванічних виробництв. Гальванічні покриття – це металеві покриття, нанесені методом електролізу на поверхню виробів або напівфабрикатів для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості, поліпшення декоративного вигляду.

Відходи гальванічних виробництв залежно від джерел утворення розділяють на такі види:

- відпрацьовані концентровані технологічні розчини (відпрацьовані електроліти нанесення покриттів, розчини зняття покриттів, лужні і кислі травильні розчини та ін.);
- промивні води;
- гальванічні шлами.

Всі відходи гальванічних виробництв з одного боку є дуже небезпечними, з іншого – економічно цінними. У багатьох економічно розвинутих країнах вони є основним джерелом кольорових металів. В електролітах за їх використання поступово накопичуються сторонні метали, механічні домішки, а якість покриття погіршується. Основним напрямом переробки відпрацьованих електролітів, що містять кольорові метали, є регенерація з метою відновлення їх працездатності і повторного використання; другий напрям – вилучення з них кольорових металів.

Прогресивні методи очищення і регенерації електролітів передбачають їх корегування один раз на 3 місяці та повну заміну протягом 2–3 років.

Якщо на підприємстві ці напрямки поводження з відходами не вирішені їх направляють на очисні споруди для нейтралізації.

Промивні води, які використовують під час промивання виробів, поступово забруднюються кольоровими металами. Раціональним напрямком поводження із відпрацьованими промивними водами є випарювання води з подальшим використанням її у виробничому процесі, а із осаду, що залишається, можна вилучати кольорові метали. Проте у нашій країні в

основному відпрацьовані електроліти і промивні води надходять на очисні споруди для нейтралізації.

Шлами, що утворюються під час нейтралізації стічних вод гальванічних виробництв і регенерації відпрацьованих електролітів, є аморфним осадом, який містить гідроксиди заліза і кольорових металів. Зневоднювання їх здійснюють за допомогою вакуум-фільтрів, прес-фільтрів або центрифуг. Для підвищення продуктивності устаткування осад піддають реагентній або безреагентній обробці. Як реагенти використовують вапно, солі заліза й алюмінію, кислотовмісні реагенти. Недоліками реагентної обробки осаду є висока вартість і дефіцитність реагентів, збільшення його обсягу.

До безреагентних способів обробки гальванічних шламів відносять ущільнення, заморожування й розморожування, введення в їх склад тирси.

Розроблені технічні рішення, що дозволяють вилучати практично всі метали з гальванічних шламів методом гідрометалургії за допомогою водних розчинів хімічних реагентів. Проте до сьогодні основна частина гальванічних шламів в нашій країні надходить до шламонакопичувачів.

Іншим напрямом поводження з гальванічними шлами з метою зменшення їх екологічної небезпеки є хімічна фіксація шляхом феритизації твердої фази відходів, силікатизації, отверджування з використанням неорганічних і органічних в'язучих речовин, спікання, проте цінна вторинна сировина для вилучення кольорових металів часто втрачається. Шлами можна використовувати для таких цілей:

- хромвмісні шлами після сушіння і прожарювання використовують як барвники у виробництві декоративного скла. Залежно від складу можна отримувати скло різного кольору й відтінків: зеленого, яскраво-синього, синьо-зеленого, темно-коричневого, чорного;

- гальванічні шлами, збагачені залізом, використовують для отримання феритів, які знаходять застосування в електротехнічній і хімічній промисловості, в радіотехніці;

– повністю виключається забруднення природного середовища сплавлянням гальванічних шламів із силікатами у співвідношенні 1 : 1 і температурі 800–1 000 °С. Цей метод дозволяє виготовляти цеглу й черепицю високої якості;

– прожарені гальванічні шлами також можна вводити до асфальтобетону в кількості до 20 % від маси сировинної суміші, також як добавку для виготовлення бетонних блоків. Під час приготування бетонів із шлаколужних в'язучих можна додавати до 20 % прожарених гальванічних шламів. За взаємодії гідроксидів важких металів з лужними силікатами утворюються силікати відповідних металів, що стійкі до розчинення.

Горіла формувальна земля. Для виготовлення відливок із чавуну, сталі і кольорових металів часто використовують одноразові форми, виготовлені із формувальних сумішей, що складаються з кварцового піску, глини (до 16 %), сполучних у вигляді бітуму, цементу, каніфолі, рідкого скла або термореактивних смол (1,5–3 %). Також використовують графіт, порошок кам'яного вугілля і вигоряючі добавки (тирса). Витрати формувальної суміші складають приблизно 1 т на 1 т металевих виробів, а іноді є й більшими.

Після використання формувальні суміші містять металеві включення, а сполучні матеріали і глина втрачають свої пластичні властивості і не придатні для повторного використання. Ці відходи називають горілою формувальною землею. Основна маса їх надходить до відвалів. Регенерація горілої формувальної землі полягає у вилученні металевих включень, видаленні пилу, дрібних фракцій глини й інших домішок. Існує два способи регенерації горілої землі: мокрий і сухий. Мокрий спосіб застосовують під час гідравлічного очищення литва. Горіла земля надходить до системи послідовно розташованих відстійників, де спочатку осідає пісок, а дрібні фракції надходять з проточною водою до наступного відстійника. Пісок просушують і знову запускають у виробництво. Сухий спосіб регенерації складається з двох операцій: обдирання від зерен піску зв'язувальних речовин і видалення пилу і дрібних частинок, що

досягається продуванням повітрям в закритому барабані з подальшим відсмоктуванням повітря разом із пилом.

Горілу формувальну землю використовують також для виробництва цегли. Попередньо методом магнітної сепарації відділяють металеві домішки. Завдяки наявності в горілій формувальній землі луку, рідкого скла, смол, якість цегли поліпшується.

Лом і відходи чорних і кольорових металів. Лом і відходи чорних і кольорових металів є найважливішою вторинною сировиною для металургійної промисловості. Ці відходи утворюються під час обробки металу у вигляді стружки, шматків і листових відходів, у результаті морального або фізичного зносу устаткування, запасних частин й інструменту (амортизаційний лом). Переробляють металевий лом підприємства, що мають у своєму складі плавильні печі, підприємства «Вторчермета» і металургійні комбінати. Лом є складовою частиною шихти доменних і сталеплавильних виробництв. Значні втрати металевого лому відбуваються із-за поганої організації його збирання.

Лом і відходи кольорових металів переробляють підприємства «Вторкольормета». У найбільших кількостях утворюються алюмінієвий, свинцевий, мідний і цинковий лом. Процеси його переробки складні і вимагають дорогого устаткування. Складність переробки полягає в тому, що кольорові метали знаходяться в металобрухті у вигляді сплавів, а вилучати кожен вид металу необхідно окремо.

Тема 5.4 Утилізація відходів хімічного виробництва

Відходи виробництва фосфору, фосфорної кислоти і фосфорних добрив. Відходи виробництва фосфору, фосфорної кислоти і фосфорних добрив є самими багатотоннажними відходами хімічного промислового комплексу. Найбільша питома вага у фосфорній промисловості припадає на виробництво фосфорних добрив – суперфосфату. Сировиною для отримання цих продуктів є руди, що містять у своєму складі фосфорити $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ та апатити – фторапатит

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ і хлорапатит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCl}_2$. Окрім основних мінералів, ці руди містять у своєму складі мінерали-домішки, в кількостях слідів уран, торій, ванадій.

Фосфорними рудами є осадові породи, що зцементовані фосфатами кальцію. Під час видобування фосфорних руд величезні маси розкритих порід: піски, глини, сланці з домішками сірки і фосфору, надходять до відвалів і практично не використовуються. Виходячи зі складу їх можна використовувати для виробництва пористих заповнювачів (аглопориту і керамзиту) й як добавки до сировини для виготовлення керамічних виробів.

Під час збагачування фосфорних руд утворюється велика кількість твердих відходів у вигляді хвостів флотації, маса яких може досягати 70–75 % від початкової маси руди. Апатитові руди відносяться до порід, що легко збагачуються. Фосфоритові важко збагачуються і вимагають застосування великої кількості реагентів, в яких залишається значна кількість фосфатів. Для зменшення утворення відходів доцільно руди, що важко збагачуються, переробляти із застосуванням селективного вилуговування сировини розбавленими кислотами або відходами, які містять кислоти. В апатитових відходах можуть міститися рідкоземельні елементи і радіонукліди, а у фосфоритових – канцерогенні органічні домішки від флотореагентів. Хвости флотації можуть використовуватися як добавки до сировини у виробництві керамічних будівельних матеріалів і пористих заповнювачів. З точки зору екологічної безпеки необхідно контролювати вміст радіонуклідів у відходах і за підвищеної їх концентрації передбачати заходи щодо захоронення відходів. Збагачені апатитові і фосфоритові концентрати переробляють електротермічним або екстракційним методами.

Можливості використання гранульованих фосфорних шлаків у виробництві будівельних матеріалів не менш широкі, ніж металургійних і паливних:

- їх можна використовувати у цементній промисловості;

- як добавку у кількості 8–10 % до сировини замість глинистого компоненту, що забезпечує економію палива;

- як добавки під час подрібнення цементного клінкеру у виробництві портландцементу й шлакопортландцементу. Тужавіє фосфорно-шлаковий цемент повільніше, міцність його в ранні терміни нижча, проте через 3–5 місяців вона стає вищою, ніж цементу на основі доменних шлаків;

- у виробництві шлаколузних цементів. Характерною особливістю фосфорно-шлакових цементів усіх типів є підвищена сульфатостійкість;

- із фосфорно-шлакових розплавів отримують литий щебінь за технологією металургійних процесів;

- із них отримують також шлакову пемзу, вату, литі вироби у вигляді плитки для підлоги й брущатки;

- виробляють фосфорні шлакоситали, які мають меншу собівартість, ніж ситали на основі доменних шлаків;

- встановлена можливість застосування фосфорних шлаків як добавки до сировини у виробництві керамічних виробів.

Основну масу фосфогіпсу, що утворюється за екстракційного способу переробки апатитових і фосфоритових концентратів, видаляють у відвали, в яких накопичилися мільйони тонн фосфогіпсу. Порівняння складу фосфогіпсу з природною гіпсовою сировиною показало, що фосфогіпс є потенційно якісною сировиною для виробництва різних в'язучих. За його використання потрібне додаткове очищення від домішок. Об'єми фосфогіпсу, що утворюється, перевищують потреби в гіпсовій сировині, яку спеціально видобувають.

Розроблені і випробувані технології отримання гіпсових в'язучих з фосфогіпсу. Для зниження вмісту домішок і нейтралізації, його промивають, потім сушать, обпалюють і подрібнюють. За такою технологією отримують високоміцний гіпс, що відповідає вимогам стандарту.

Фосфогіпсові в'язучі можна використовувати як добавки до цементу для регулювання термінів тужавлення. Із фосфогіпсових в'язучих можна отримувати перегородні плити, блоки, декоративні акустичні плити. На основі

фосфогіпсових в'язучих можливе отримання декоративного матеріалу – штучного мармуру. Фосфогіпс можна використовувати як сировину для виробництва цементу з одночасним отриманням сірчаної кислоти.

Відходи виробництва калійних добрив. Відходи утворюються під час переробки калійних руд, основним мінералом яких є сильвініт – суміш сильвіну KCl і галіту NaCl . Калійні добрива в основному використовують у вигляді калію хлориду. Калійні руди переробляють різними методами. Найбільш поширеним є метод збагачення породи флотацією. Під час переробки й збагачення сировини в калійній промисловості утворюються багатотоннажні тверді галітові відходи, які надходять до відвалів. На 1 т KCl утворюється 3–4 т відходів. Окрім основного компоненту NaCl (до 90 %), вони містять KCl , CaSO_4 , MgCl_2 , Br і нерозчинні речовини.

Поблизу калійних підприємств накопичуються сольові відвали, які викликають засолення ґрунтів, підвищення мінералізації поверхневих і підземних вод. З метою поліпшення екологічного стану варто відмовитися від зберігання сольових відходів на поверхні ґрунтів і поступово перейти на їх розміщення у виробках, а також удосконалювати технологію гірничих робіт шляхом скорочення виїмки з шахт галіту і пустої породи (селективне видобування калійних руд).

Відходи виробництва кальцинованої соди і ацетилену. У виробництві кальцинованої соди аміачним способом утворюються відходи у вигляді дистилерної рідини. На 1 т кальцинованої соди утворюється 8–12 т дистилерної рідини, вона містить у своєму складі до 200–250 кг твердого залишку на 1 м³ рідини. Розміщення цих відходів здійснюють у спеціальних шламосховищах (білих морях). Твердий залишок (дистилерний шлам) – це крейдоподібний матеріал, що складається на 70–80 % із частинок розміром 0,1–0,2 мм. До складу шламів входять такі компоненти: кальцію карбонат – 50–65 %, кальцію гідроксид – 4–10 %, гіпс – 5–10 %, кальцію і натрію хлориди – 5–10 %, домішки глини, піску (5–10 %) й інші компоненти. На підприємствах содової промисловості накопичилися мільйони тон дистилерних шламів. Вони

призводять до засолення ґрунтів прилеглих територій, поверхневих і підземних вод.

Одним з основних напрямів використання дистилерного шламу є отримання вапняно-білітового в'язучого і силікатної цегли на його основі.

Технологічна схема отримання вапняно-білітового в'язучого така: шлам розробляють на пляжі будівельною технікою і направляють на сушку, потім його обпалюють в обертовій печі, тонко подрібнюють спільно з піском у певному співвідношенні, а потім використовують для виробництва цегли за звичайною технологією.

Вапняно-білітове в'язуче використовують також для виробництва безклінкерних цементів шляхом спільного помелу їх з гранульованими доменними шлаками, для будівельних розчинів, автоклавних матеріалів.

Дистилерні шлами рекомендують також використовувати для отримання наповнювачів асфальтобетонних сумішей, лінолеуму, полівінілхлоридної плитки, тампонажних матеріалів.

Карбідне вапно – відхід у вигляді вапняного тіста, що утворюється під час отримання ацетилену шляхом дії води на кальцію карбід. Вапняне тісто містить в своєму складі домішки кальцію карбиду і розчиненого ацетилену.

Застосовувати його можна після витримки у відвалі 1–2 місяця до зникнення запаху ацетилену. Активність вапна залежить від перебування у відвалі і відповідає вапну третього ґатунку. Його рекомендують використовувати як в'язуче для автоклавних матеріалів. Для поліпшення в'язучих властивостей рекомендують карбідне вапно подрібнювати спільно з піском (активність карбідного вапна збільшується в 2–2,5 рази). Замість піску можна використовувати горілі породи, доменні шлаки.

Відходи виробництва сірчаної кислоти. *Піритні огарки* – відходи, що утворюються під час переробки залізного колчедану (FeS_2 – піриту) на сірчану кислоту. Чистий залізний колчедан містить 53,5 % сірки і 46,5 % заліза. У природному колчедані, окрім сірки і заліза, містяться домішки піску, глини, карбонатів, сульфідів кольорових металів, сполуки миш'яку, селену, срібла,

золота та ін. Під час випалювання збагаченого піритного концентрату отримують діоксид сірки, який надалі переробляють у сірчану кислоту, а як твердий відхід утворюється піритний огарок. Останній складається в основному із заліза і має такий хімічний склад: Fe_2O_3 – 56–77 %, SiO_2 – 9–22 %, Al_2O_3 – 1–18 %, CaO – 0,8–5 %, MgO – 0,1–0,2 %.

Крім того, піритні огарки містять у своєму складі мідь, цинк, свинець, сірку, дорогоцінні метали, миш'як, селен. За випалювання піритного концентрату, утворюється близько 70 % огарків від маси колчедану. Розчинні сполуки миш'яку, що входять до складу піритних огарків, легко вимиваються атмосферними осадами і забруднюють ґрунти, поверхневі й підземні води.

Найбільш доцільним напрямом поводження з піритними огарками є:

- вилучення з їх складу кольорових і дорогоцінних металів;
- піритні огарки є цінною сировиною для чорної металургії. Основною перешкодою для використання їх у доменних печах є високий ступінь подрібнення, що може викликати забивання доменної печі, значний вміст в деяких видах огарків свинцю, міді, цинку, срібла, що ускладнює процес доменного виплавляння і забруднює його продукти, а також підвищений вміст сірки, що призводить до отримання чавуну низької якості. До виплавляння потрібно вилучати кольорові метали, виконувати високотемпературну агломерацію піритних огарків, що приводить до вигоряння сірки й утворення шматків матеріалу;
- у невеликих кількостях піритні огарки використовують як добавки до сировини для доменної плавки без попереднього вилучення кольорових і дорогоцінних металів;
- рекомендується із огарків вилучати селен. Це є одним із основних джерел отримання цього елемента;
- розроблені технології отримання з піритних огарків високозалізистих цементів. Початковими компонентами служать: крейда (60 %) і піритні огарки (40 %);

– піритні огарки можна використовувати як добавки, так і як основну сировину для виробництва керамзиту. Сірчистий газ, що утворюється за розпаду піриту, спучує глинисту сировину;

– розроблена технологія отримання важких заповнювачів з піритових огарків (95–97 %) і глини (3–5 %). Заповнювач має істинну густину до 6 000 кг/м³;

– піритні огарки застосовують для отримання червоного залізооксидного пігменту шляхом тонкого помелу і прожарювання за температур 700–800 °С. Цей пігмент стійкий до дії кислот, лугів і вапна, світлостійкий, може застосовуватися у водних і неводних барвистих речовинах. Огарки застосовують для фарбування силікатної цегли і керамічних матеріалів.

Відходи коксохімічного виробництва. Кокс – тверде паливо підвищеної міцності, яке отримують способом нагрівання вугілля до 950–1 050 °С без доступу кисню. Вугілля, яке коксують, здатне переходити в пластичний стан і спікатися. За коксування, окрім коксу, утворюються: кам'яновугільна смола, бензол, аміак, коксовий газ й інші сполуки. Коксовий газ використовують як паливо або для виробництва інших продуктів. Супутній сірководень перетворюють на елементарну сірку, аміак, використовують для виробництва азотно-фосфорних добрив.

Під час очищення кам'яновугільної смоли і бензолу отримують легкі, середні й важкі масла, а також антраценове масло і пек – компоненти дорожнього дьогтю.

У процесі відстоювання кам'яновугільної смоли у сховищах, утворюються в'язкі відходи – фуси, що містять смолянисті речовини (50–80 %), фенол, вугільний і коксівний пил, залізисті й інші сполуки. Густина фусів складає 1 300–1 400 кг/м³. Фуси додають до шихти під час коксування в паливо топок ТЕС. Їх змішують і грудкують з основними компонентами й іншими видами паливних відходів. З фусів також можна вилучати смоли. На багатьох заводах через відсутність необхідного устаткування, значну масу фусів не використовують і відправляють до накопичувачів.

Інший напрям утилізації фусів – використання їх у будівництві. На основі фусів виготовляють матеріали для захисних гідроізоляційних покриттів бетонних, залізобетонних і металевих виробів. Такі матеріали отримують розчиненням фусів в уайт-спіриті й інших розчинниках з додаванням полівінілхлоридної смоли і подальшого відстоювання. Покриття є гідрофобними, мають високу міцність і водостійкість.

Відходи, що містять нафтопродукти. Відходи, що містять нафтопродукти, утворюються в технологічному процесі різних підприємств під час використання нафтопродуктів і на очисних спорудах, куди вони надходять зі стічними або зливними водами.

Нафтовідходи утворюються у вигляді рідких забруднених нафтопродуктів, нафтовмісних осадів, шламів і відпрацьованих мастил і підрозділяються на такі групи (ГОСТ 21046-86):

- 1) ММО – мастила моторні відпрацьовані (автотракторні, дизельні, авіаційні і т. д.) ;
- 2) МІО – мастила індустріальні відпрацьовані (турбінні, компресорні, трансформаторні і т. д.);
- 3) СНО – суміші нафтопродуктів відпрацьованих (нафтопродукти, які вилучені з нафтовмісних стічних вод на очисних спорудах; зібрані при зачистці резервуарів, трубопроводів і т. д.).

Відпрацьовані нафтопродукти є цінними матеріально-технічними ресурсами і підлягають повторному використанню. До основних напрямів поводження з відходами, що містять нафтопродукти, залежно від їх цінності і стану, відносяться: зневоднювання, знешкоджування, регенерація, утилізація.

Мастила збирають багато спеціалізованих фірм і здають їх на переробку. Велику частину індустріальних і трансформаторних мастил в основному регенерують на місці споживання. Забруднені й обводненні нафтопродукти перед здаванням на переробку попередньо зневоднюють і відстоюють.

Відходи нафтопродуктів добре відстоюються за невеликого підігріву до 60–65 °С. За цього механічні домішки осідають.

Зневоднювання і очищення відходів, що містять нафтопродукти, проводять також центрифугуванням або відстоюванням і фільтруванням через пісок та інші зернисті фільтри.

Знешкодження нафтовмісних відходів, які не підлягають утилізації, здійснюють термічним, хімічним і біологічним способами.

Рідкі нафтовмісні відходи, що не підлягають утилізації, спалюють в топках і горілочних пристроях з одночасною утилізацією тепла. Найбільшого поширення набули турбобарботажні установки «Вихор». Для спалювання нафтошламів, осаду очисних споруд застосовують печі різних типів.

Під час хімічного знешкодження нафтовмісні відходи піддають обробці кальцію оксидом (вапном) або магнію оксидом (попередньо оброблених ПАР) у співвідношенні 1 : 1–1 : 10. Як ПАР використовують стеаринову, пальмітинову кислоти або парафінове масло. Вапно взаємодіє з водою з утворенням гідрофобного порошку, що складається з найдрібніших гранул, в яких знаходяться токсичні компоненти. Він добре ущільнюється. Отриману масу ущільнюють на місці катками або перевозять для подальшого використання. Його можна використовувати як облицювальний матеріал для різних сховищ, спорудженні основ доріг і т. д. Таким методом знешкоджують ґрунти, забруднені нафтопродуктами, пляжі. Одночасно із знешкоджуванням нафтовмісних відходів проводять очищення і рекультивацію земельних ділянок.

Нафтовмісні відходи піддають також біологічному знешкоджуванню під впливом мікроорганізмів. Підібрані штами бактерій, що перетворюють ароматичні і аліфатичні вуглеводні на нешкідливі діоксид вуглецю і воду.

Випускають бактерійний препарат на основі природного штаму вуглеводньоокислючих бактерій *Pseudomonas putida*. Препарат випускають в поліетиленових пакетах масою 1–10 кг. Нафтовмісні відходи в спеціальних барабанах перемішують з субстратами мікроорганізмів у співвідношенні 9 : 1.

Підготовлений матеріал укладають шаром 80–100 см і витримують протягом двох років на біомайданчику, який огорожують по периметру

дамбою; основу ущільнюють, укладають плівковий екран і влаштовують дренаж. Дренажну воду забирають насосом і розбризкують по поверхні відходів. Для захисту від водної і вітрової ерозії біомайданчик засівають травою. Цей спосіб застосовують для очищення забруднених нафтопродуктами ґрунтів, нафтовмісного осаду стічних вод.

Основним напрямом поводження з відпрацьованими мастилами є їх регенерація. Методи регенерації відпрацьованих мастил можна розділити на фізичні, фізико-хімічні, хімічні.

Фізичний метод включає відстоювання (краще з підігрівом за 60–65 °С), центрифугування, фільтрування, відгонка легких паливних фракцій, вакуумну перегонку, яка є найбільш ефективною.

До фізико-хімічних методів регенерації мастил відносяться: коагуляція забруднень різними ПАВ, контактне очищення відбілюючою глиною і активованими адсорбентами. Відбілююча глина після використання видаляється на звалище. Розроблені й упроваджені технології з регенерації відбілюючої глини (Німеччина), після чого вона повторно може використовуватися для очищення мінеральних мастил. Після вторинного використання її вживають як добавку при виробництві керамічної цегли.

До хімічних методів очищення відносять сірчаноокислотні й лужні. Сірчана кислота активно впливає на більшість забруднень і продукти окислювання мастил: смоли, асфальтени, нафтові кислоти, сірчані з'єднання, присадки. Проте застосування сірчаної кислоти пов'язане з утворенням важко утилізованого кислого гудрону.

Найбільш простим і поширеним способом утилізації відпрацьованих мастил є змішування їх з сировою нафтою на нафтопереробних заводах і спільна переробка за повною технологією. Кількість мастил, що додаються, не повинна перевищувати 1 % від об'єму сирової нафти. Відпрацьовані мастила, що не підлягають утилізації, використовують у виробництві керамзиту, додаючи їх спільно з тирсою як вигоряючі і спучуючі добавки.

Шлами, що утворюються за регенерації мастил, можуть використовуватися для виробництва дорожніх бітумів або як паливо.

Широко поширеними слабкоконцентрованими нафтовмісними відходами є відпрацьовані *мастильно-оходжувальні рідини* (МОР), які застосовують під час роботи металообробних верстатів, прокатних станів і так далі. Для приготування МОР використовують емульсоли (5–6 %), основою яких є мінеральне мастило, соду (0,2–0,6 %) і воду. Використанні МОР забруднюються механічними домішками, густіють в процесі випаровування вологи, псуються, виділяють неприємний запах.

Основними методами знешкодження МОР є реагентна коагуляція, центрифугування, реагентна напірна флотація, електрокоагуляція, ультрафільтрація і зворотний осмос. Набув поширення термічний спосіб обробки емульсій на випарній установці. Водяні пари охолоджують в конденсаторі й використовують для приготування МОР, зневоднений мастиловмісний осад – як паливо або як добавку до котельного палива.

Одним з видів нафтовмісних відходів є кислі гудрони, які утворюються за сірчаноокислотного очищення нафтопродуктів. Вони є високов'язкими смолоподібними масами. Склад їх коливається у великих межах. У них міститься від 4 % до 85 % невикористаної в процесі очищення вільної сірчаної кислоти, від 8 % до 97 % органічних сполук і вода. Значна маса кислих гудронів надходить до відвалів.

Утилізують кислі гудрони термічним способом з метою отримання діоксиду сірки, що надалі переробляється в сірчану кислоту. До кислих гудронів додають відпрацьовану сірчану кислоту, вихід якої в нашій країні значний.

Термічне розщеплювання цих відходів проводять в печах за температур 800–1 200 °С. За цього відбувається утворення діоксиду сірки і повне згоряння органічних речовин. За вмісту органічних речовин до 12–25 % додаткового палива не потребується.

Кислі гудрони сірчанокислотного очищення мастил запропоновано також використовувати:

- у виробництві дорожніх бітумів;

- як добавка їх до цементного клінкеру в обертові печі у виробництві цементу. Органічна частина кислих гудронів вигоряє, а вапняні породи взаємодіють з вільною сірчаною кислотою, утворюючи сірчаний кальцій. Зменшуються витрати палива;

- кислі гудрони із вмістом сірчаної кислоти до 18 % можна використовувати для влаштування протифільтраційного екрану в основі полігонів ТПВ. У ході розкладання ТПВ утворюється сильно концентрована лужна рідина (фільтрат) з високим вмістом органічних і мінеральних речовин. За контакту кислого гудрону з фільтратом відбувається нейтралізація кислот з утворенням малорозчинних або нерозчинних солей.

Такий екран споруджений в основі полігону ТПВ в Харкові. За запропонованою технологією кислий гудрон наносять шаром товщиною 8–10 мм на природну ґрунтову основу з подальшим укладанням захисного шару з ґрунту товщиною 20–25 см, а потім розміщують відходи.

6 НОВІТНІ ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Тема 6.1 Актуальність застосування технологій енергозбереження

Застосування технологій енергозбереження в промисловості завжди актуально. Це пов'язане із тим, що в промисловості витрачається до 80 % енергії. Термічне встаткування, промислові печі є одним з найбільш значних споживачів енергоносіїв (газ, електрика) і ресурсів (вогнетриви, нагрівачі, електроди, мідь, газ, масла, вода і т. д.) на металургійних, машинобудівних підприємствах, підприємствах виробників кераміки, фарфору.

Частка корисного тепла (ККД) порівняно із загальним енергоспоживанням становить часто лише 10–30 % для печей і термічного обладнання, що працює на газі або рідкому паливі, і 30–50 % для електротермічного обладнання.

Вартість енергоносіїв зростає, особливо останнім часом. З огляду на високий ступінь енергоспоживання під час експлуатації печей, термічного обладнання, особливо актуальним є питання щодо здійснення жорсткої економії енергії шляхом застосування технологій енергозбереження, нових матеріалів і конструкцій при будівництві нових печей і реконструкції діючого термічного парку.

Методи зниження енергоспоживання

- 1) застосування ефективних високотемпературних і теплоізоляційних матеріалів;
- 2) використання тепла відхідних газів;
- 3) методи рециркуляції теплоносіїв;
- 4) застосування сучасних газопальникових систем;
- 5) автоматизація процесів термообробки.

Питання застосування технологій енергозбереження вирішуються комплексно. Такий підхід дає найбільший ефект.

Досвід роботи в цій сфері показує, що застосування технологій енергозбереження під час реконструкцій діючих і будівництва нових печей і термічного обладнання дозволяє знизити енергоспоживання від 20 % до 60 %.

Особливої актуальності технології енергозбереження набувають останнім часом (особливо в Китаї, де вартість енергоносіїв доволі висока) на тлі постійного зростання вартості енергоносіїв газу, нафти, електроенергії.

Ступінь ефективності технологічних методів щодо зниження енергоспоживання в промислових печах подана в таблиці.

Таблиця 6.1 – Ступінь ефективності методів зниження енергоспоживання

Ч. ч.	Заходи з енергозбереження	Ефект від впровадження заходу	Орієнтовний строк окупності
1	Застосування волокнистих високоефективних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів для футерування промислових печей	Економія енергоносіїв до 40 % (в печах періодичної дії) і до 25 % (в печах безперервної дії). Зниження маси футерування печі в 10 разів. Скорочення часу виходу на режим до 1,5–2 годин. Збільшення числа теплосмін до 1 000–2 000	Для печей періодичної дії до 6 місяців
2	Застосування сучасних газопальниковими пристроїв. Застосування рекуперативних, плоскополум'яних, імпульсних пальників	Економія палива до 10–15 %. Підвищення безпеки роботи теплових агрегатів	6 місяців
3	Застосування ефективних схем руху теплоносія (протитечія, П-образні печі з зонами рекуперації, примусова конвекція, полум'яні і теплові завіси, рециркуляція продуктів згоряння)	Економія палива до 40 %. Підвищення якості (рівномірності нагріву) термообробки	5–8 місяців
4	Застосування рекуперативних, регенераторних пристроїв	Економія палива 15–25 %	6–8 місяців
5	Автоматизація процесів нагріву в печах різного призначення	Економія палива до 15 %. Підвищення якості термообробки	до 8 місяців

Економічна ефективність технологій енергозбереження. Технології енергозбереження, що включають в себе застосування сучасних, високоефективних матеріалів, оснащення газопальникового тракту печі системою рекуперації тепла, систем рециркуляції і системами регулювання, високий ступінь автоматизації контролю і управління технологічними процесами, застосування надійних способів герметизації і ряд інших інженерних рішень, які дозволяють домогтися зниження експлуатаційних витрат на енергоресурси на 20–60 %.

Накопичено великий опит застосування волокнистих матеріалів при реконструкції і будівництві багатьох типів промислових печей на Україні та в країнах СНД.

Терміни окупності витрат на проведення реконструкції або будівництво нових печей і термічного обладнання складають 6–9 місяців.

Практична експлуатації нових і реконструйованих печей і термічного обладнання підтверджує високу ефективність і надійність застосування сучасних матеріалів і економічних систем опалення.

Організація робіт з енергозбереження. Роботи з енергозбереження проводяться в такій послідовності:

1) енергоаудит – проведення обстеження термічного парку підприємства. На кожному підприємстві, яке зацікавлене в отриманні прибутку завдяки економії енергоресурсів, варто обстежити і реально оцінити стан термічного парку (печей, термічного обладнання, теплових агрегатів). За результатами такого обстеження проводять аналіз стану термічного парку і ефективність заходів з енергозбереження;

2) розробка плану робіт з енергозбереження для підприємств. Спільно з фахівцями і керівництвом підприємств розробляється план робіт по застосуванню технологій енергозбереження;

3) розробка проєктів модернізації та реконструкції парку термічного обладнання.

Після затвердження плану робіт фахівці компанії розробляють проекти реконструкції печей і термічного обладнання: для одних печей варто провести їх реконструкцію, для інших може бути проведена часткова модернізація:

- заміна футерувальних матеріалів на сучасні високоефективні;
- заміна газопальникової системи (особливе значення має регулювання процесу горіння);
- утилізація продуктів згоряння, установка рекуператорів;
- для електричних печей доопрацювання конструкції або заміна електронагрівачів.

Способи економії енергії під час експлуатації термічного обладнання розрізняються також і обсягами вкладених в них витрат. Існують шляхи економії енергії під час експлуатації термічного обладнання, які не вимагають значних витрат:

- 1) використання не менше 70 % робочого простору устаткування;
- 2) складання оптимальних графіків завантаження-вивантаження;
- 3) експлуатація печей у тривалому режимі;
- 4) контроль і облік споживання енергоносіїв;
- 5) місцеві ущільнення частин термічного обладнання (заслінок, дверей, інших технологічних отворів);
- 6) використання вторинних енергоресурсів (газів, води) і т. д.

Існує цілий ряд шляхів економії енергії під час експлуатації термічного обладнання, які вимагають витрат на реконструкцію:

- 1) використання малоінерційних і низькотеплопровідних ізоляційних матеріалів;
- 2) зменшення власної термічної маси у вигляді завантажувальних засобів, інструменту, оснащення і т. д., забезпечення швидкої і економічної завантаження;
- 3) використання нової техніки герметизації;
- 4) внутрішня рекуперація тепла;

- 5) раціональний розподіл потужності всередині об'єму термічного пристрої (реконструкція нагрівачів, застосування примусової конвекції);
- 6) використання сучасних систем контролю і управління;
- 7) використання захисних атмосфер замість повітря за нагріву вище 600 °С. Це зменшує або повністю виключає втрати від утворення й видалення окалини;
- 8) застосування високотемпературної термічної обробки у вакуумі;
- 9) заміна загартовування і відпуску ізотермічним загартуванням;
- 10) застосування киплячого шару як середовища нагріву;
- 11) використання вискоефективних систем спалювання палива з подачею розігрітого повітря горіння;
- 12) реконструкція дугових печей змінного струму шляхом переведення їх на постійний струм. Це дозволяє знизити: витрати електроенергії на 10–15 %; у 2–5 разів витрати електродів; на 20–30 % витрати вогнетривких матеріалів; на 1,5–2 % витрати вихідної сировини і дорогих легуючих добавок на 20–60 %;
- 13) перехід на малотоннажне термічне встаткування (малоінерційні, модульні конструкції, багатоцільове призначення);
- 15) перехід на поверхневий нагрів там, де можна не здійснювати об'ємного (швидкісний нагрів, нагрів ТВЧ, індукційний);
- 16) використання інших прогресивних технологій енергозбереження. Економія енергоносіїв за цього становить від 20 % до 60 % і створюється завдяки зменшенню витрат і часу на розігрів печей (час розігріву печей до 1 000 °С може бути зменшено до 1–2 год), зменшення тепловтрат і споживаної потужності, скорочення тривалості ремонтів і міжремонтних простоїв, а також збільшення продуктивності печей.

Матеріали для технологій енергозбереження. Технології енергозбереження передбачають застосування спеціальних матеріалів.

На сьогодні застосовують вискоефективні вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали, що забезпечують надійну і довговічну роботу печей за таких

температур тривалого застосування (волокнисті матеріали з базальтових і мулітокремнеземні волокон, спінені матеріали):

1) до 750 °С – плити та картони з базальтових волокон, густиною від 140 до 220 кг/м³;

2) до 875 °С – перлітокераміка, пенодіатоміт, вермикуліт щільністю до 350 кг/м³;

3) до 1 200 °С – мулітокремнеземні матеріали: фетр, повсть і рулонний матеріал, з густиною до 200 кг/м³;

5) до 1 500 °С – мулітокремнеземні матеріали, фетр, плити на високотемпературному зв'язуючому.

Футерування з волокнистих матеріалів забезпечує мінімальні втрати з поверхні печі і мінімальні витрати енергії на її розігрів після зупинок. Поверхня футерування не порошить і не руйнується за наявності повітряних потоків зі швидкістю до 6 м/с. Крім того, конструкція футерування забезпечує простоту і зручність монтажу, а також достатню ремонтпридатність. Кінцевий вибір матеріалів залежить від теплофізичних і міцності, вартості 1 м² кладки і приймається після точних теплотехнічних і економічних розрахунків.

Устаткування технологій енергозбереження:

- 1) рекуператори і теплообмінники різних конструкцій;
- 2) системи газо-повітряного тракту і ефективні газопальникові системи;
- 3) системи рециркуляції теплоносіїв;
- 4) автоматизовані системи контролю, регулювання і управління.

Тема 6.2 Сфери застосування теплоізоляційних матеріалів і технологій енергозбереження за галузями промисловості

Підприємства машинобудування:

1) газові й електричні печі для термообробки металовиробів – футерування стін і склепіння, горючі камені з волокнистих матеріалів,

ущільнюючі шнури. Установка рекуператорів, застосування системи внутрішньої рекуперації та рекуперативних пальників;

2) ковпакові, вертикальні, шахтні печі – футерування стін, склепіння, горючі камені, ущільнюючі шнури. Установка рекуператорів або рекуперативних пальників, застосування примусової конвекції, використання плоскополум'яних пальників і систем радіаційного нагріву, де це необхідно;

3) електричні печі – футерування стін, склепіння, поду печі, зовнішня футерування тигельних індукційних печей, теплоізоляційний шар каналних індукційних печей, використання всіх резервів внутрішньої рекуперації, в тому числі й з примусовою конвекцією, влаштування внутрішніх і зовнішніх теплових і полум'яних завіс, за можливості проєктування П-подібних печей із зонами рекуперації та зонами нагріву;

4) нагрівальні печі ковальсько-пресових цехів – футерування стін, склепінь, горючі камені, ущільнюючі шнури. Установка рекуператорів, пальників із змінною геометрією факела, рекуперативних пальників;

5) печі із захисною середовищем – футерування стін і склепіння, радіаційні панелі непрямого нагріву, ущільнюючі шнури, смуги;

6) обертові сушила для сипучих матеріалів – теплоізоляція, ущільнення шнурками, організація протитечі.

Чорна металургія:

1) установка для випалу руди – ізоляційні шари всіх газоходів;

2) установки відновлення залізородних окатишів – футерівка волокнистими і спученими матеріалами;

3) повітронагрівачі доменних печей – термоізоляція стін, купола, повітропроводів гарячого дуття;

4) мартенівські печі – конструкційні термоізолювальні шари, термоізоляція склепіння печі, стін і склепіння регенераторів, термоізоляція кришок завантаження;

5) котли-утилізатори печей і конвекторів – ізоляційні шари і високотемпературні фільтри;

6) ковші розливу металу – ізоляція кришок ковшів і кришок установок нагріву ковшів перед розливом металу;

7) печі нагрівання металу перед прокаткою – футерування зводів, робочих і ізоляційних шарів стін, застосування рекуператорів або регенераторів, дискофакельних пальників в печах з горизонтально розташованої садкою.

Трубопрокатні заводи:

1) теплоізоляційні вставки прибуткових насадок форм для виливків заготовок для суцільнотягнутих труб;

2) кільцеві печі – футерування стін і підвісного зводу, застосування плоскополум'яних пальників, застосування рекуператорів;

3) секційні печі нагріву труб перед загартуванням і термообробки труб – футерування секцій печі, ущільнення стиків секцій шнурами, застосування плоскополум'яних пальників;

4) роликові електричні печі для термообробки труб – футерування стін, склепіння печі, теплоізоляційний шар пода, теплоізоляція роликів (зменшення виносу тепла з охолоджувальною водою).

Кольорова металургія:

1) печі газові та електричні для плавки алюмінію, міді, свинцю – футерування робочого шару зводу, теплоізоляційні шари стін. Для газових печей застосування рекуператора.

Підприємства хімічної та нафтохімічної промисловості, нафтопереробні заводи (НПЗ):

1) трубчасті нагрівачі різного призначення (риформінгу, печі піролізу і інші трубчасті печі) – робочий шар стін і склепіння, футерування радіантних камер;

2) реформені і пускові печі – футерування стін, склепіння, термоізоляція і ущільнення оглядових люків, горючі камені;

3) печі для спалювання сірчистого колчедану – футерування стін і склепіння;

4) парові котли – матеріали для футерування;

5) шатрові печі НПЗ – футерування стін і склепіння, горючі камені.

Підприємства з виробництва кераміки і будівельних матеріалів:

1) високотемпературні печі випалу кераміки – футерування стін, склепіння і у деяких випадках пода печі, підігрів повітря горіння в рекуператорі, теплоізоляція рекуператора, організація руху садки та продуктів згоряння за схемою «протитечії», рециркуляція газів, влаштування внутрішніх і зовнішніх теплових і полум'яних завіс, за можливості проектування П-подібних печей із зонами рекуперації та зонами нагріву;

2) тунельні печі для випалювання цегли – футерування стін і склепіння, Плоскополум'яні пальники, підігрів повітря горіння;

3) тунельні печі для випалювання керамічних плиток – футерування стін, плоских склепінь, горілчаних каменів, теплоізоляція оглядових і технологічних люків, застосування діскофакельних пальників.

Скляна промисловість:

1) скловарні печі – теплоізоляція склепінь і стін печей і регенераторів;

2) барабанні сушила для сушки піску і доломіту – зовнішня теплоізоляція барабанів, організація протитечії;

3) печі відпалу – теплоізоляційні шари.

Енергетика:

1) футерування парових та водогрійних котлів, паропроводів, теплових трас, термічного обладнання: турбін і ін.

7 ІНОВАЦІЙНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТА УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛА НА ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Тема 7.1 Принципи підвищення енергоефективності на хімічних виробництвах

Хімічна промисловість належить до найбільш енергоємних галузей світової економіки. За оцінками, до 60–80 % загальних енергетичних витрат у хімічних процесах припадає на стадії нагрівання, охолодження та проведення фазових переходів – випарювання, дистиляцію, сушіння. Значна частина цієї енергії втрачається у вигляді низько- та середньотемпературного тепла, яке, однак, має значний потенціал для повторного використання. Системний підхід до управління енергоспоживанням через стандарти на кшталт ISO 50001 забезпечує напрямок для постійного вдосконалення: від формування енергетичної політики до контролю виконання й перевірки досягнутих результатів. Це створює можливості не лише для зниження витрат, але й для зменшення вуглецевого сліду виробництв.

Базові принципи підвищення енергоефективності. Підвищення енергоефективності хімічних виробництв базується на чотирьох ключових напрямках. По-перше, управління попитом на тепло і холод, що включає інтенсифікацію процесів шляхом об'єднання реакції й теплообміну в одному апараті, застосування мембранних і сорбційних альтернатив дистиляції, використання колон з міжстінками, реактивних та розділових колон. По-друге, інтеграція теплових потоків (heat integration), яка передбачає побудову композитних кривих «гарячих/холодних» потоків, визначення pinch-точки та цільових навантажень на нагрів і охолодження, а також синтез ефективної мережі теплообмінників (HEN). По-третє, утилізація відпрацьованого тепла з урахуванням його температурного рівня, безперервності та масштабу процесу. І, нарешті, системний енергоменеджмент, що включає енергоаудит, оцінку

ключових показників ефективності (KPI), а також реалізацію PDCA-циклу у відповідності з ISO 50001.

Технології утилізації тепла. Утилізація відпрацьованого тепла залежить від його температурного рівня.

Низькотемпературне тепло (60–160 °C) найчастіше реалізується через органічний цикл Ренкіна (ORC), що дозволяє перетворювати низькосортне тепло в електроенергію. Ця технологія вже продемонструвала техніко-економічну доцільність у хімічних виробництвах, теплових мережах, конденсаторах та термічних окиснювачах. Іншим напрямом є використання теплових насосів, зокрема компресійних, які піднімають температурний рівень відпрацьованого тепла для його повторного використання, наприклад, у системах підготовки живильної води або сушильних процесах.

Середньотемпературне тепло (120–250 °C) може утилізуватися шляхом механічної компресії пари (MVR), яка забезпечує різке зниження споживання свіжої пари для випарників та кристалізаторів. Системи MVR можуть ефективно поєднуватися з багатокорпусними випарниками (MEE). Для цього діапазону також перспективними є каскадні схеми ORC або двоконтурні системи, що дозволяють розширити робочі температурні межі утилізації.

Високотемпературне тепло (> 250 °C) зазвичай використовується через рекуператори та регенератори димових газів печей та реакторів. У деяких випадках можливе застосування термоелектричних модулів. Важливим напрямом є інтеграція промислових надлишкових теплових потоків до систем централізованого теплопостачання, що дозволяє підвищувати енергоефективність на регіональному рівні.

Системи енергоменеджменту та ISO 50001. Впровадження стандарту ISO 50001 надає підприємствам структуровану систему управління енергоспоживанням. Вона включає формування енергетичної політики, визначення енергобазової лінії, постановку цілей і планів (EnPIs), операційний контроль, перевірку результатів, внутрішні аудити та менеджмент-рев'ю. Кейс-дослідження у світовій практиці підтверджують, що впровадження стандарту

забезпечує суттєве зниження витрат енергії завдяки регулярності та відтворюваності процедур.

Цифровізація та автоматизація. Розвиток цифрових технологій створює додаткові можливості для підвищення енергоефективності. Використання систем розширеного процесного керування, цифрових двійників, онлайн-балансів енергії, сенсорів вологості для сушіння та аналітики режимів «пуск–зупинка» дозволяє зменшити пікові навантаження і втрати. Поєднання таких рішень із KPI системи ISO 50001 підвищує результативність управління енергоспоживанням.

Оцінка ефективності. Ефективність енергоощадних заходів оцінюється за допомогою енергетичного та ексергетичного аналізу, а також шляхом порівняння показників до та після впровадження проєкту. Для економічної оцінки використовуються показники, тоді як екологічний ефект визначається за обсягом скорочення викидів CO₂ (в рік). Світові огляди підтверджують значний нереалізований потенціал утилізації відпрацьованого тепла у хімічній промисловості.

Типові вузли хімічних виробництв та рішення підвищення енергоефективності:

1) дистиляційних процесів перспективними є міжступінчасті теплообмінники, теплові насоси для рекуперації тепла в колонах, колони з міжстінкою, а також утилізація теплоти конденсату та дефлегматорів;

2) у випарних і кристалізаційних установках доцільним є перехід на теплообмінники з високою турбулізацією, заміна барботажних на плівкові апарати;

3) у процесах сушіння ефективними є замкнені контури з рекуперацією прихованої теплоти конденсації, теплові насоси та рециркуляція повітря чи азоту;

4) для печей, реакторів і термоокиснювачів застосовуються економайзери для підігріву живлення або повітря, а також ORC для утилізації тепла димових газів.

Реалізації енергоефективних заходів у хімічному виробництві передбачає кілька етапів. Першим кроком є енергоаудит і побудова карти теплових потоків із визначенням критичних точок. Наступним етапом є реалізація швидких заходів з мінімальними інвестиціями (ізоляція, усунення підмішувань, оптимізація режимів, зменшення $\Delta T_{\min}$). Третій етап включає пілотні проєкти утилізації тепла з використанням теплових насосів. Завершальний етап — це інтеграція енергоменеджменту відповідно до ISO 50001 із впровадженням та систематизацією трендів, стандартизацією експлуатації та розробкою довгострокового плану енергоефективних капітальних інвестицій.

Енергоефективність у хімічному виробництві є одним із ключових факторів зниження енерговитрат та екологічного навантаження. Утилізація відпрацьованого тепла на різних температурних рівнях, впровадження теплової інтеграції, розвиток цифрових технологій і стандартизація управління енергією за ISO 50001 створюють значний потенціал для досягнення стійкого розвитку галузі.

Тема 7.2 Енергозбереження у технології скла

Скляна галузь в охоплює найширше розмаїття процесів – від малосерійного ручного виробництва кришталевих виробів до величезних обсягів скла, виробленого за допомогою флоат-процесу для будівельної та автомобільної галузей. Методи виробництва також варіюють від малих печей з електричними нагрівальними елементами у виробництві керамічного волокна до величезних регенеративних печей з поперечним напрямком полум'я при виробництві листового скла флоат-процесом, продуктивністю до 1 000 т скломаси на добу.

Виробництво скла – дуже енергоємний процес, і вибір джерела енергії, методу нагріву і рекуперації теплоти є визначальними для конструкції печі. Ті ж самі альтернативи є і одними з найбільш значущих чинників, що визначають екологічну результативність та енергоефективність скловаріння.

Зазвичай енергія, необхідна для скловаріння, відповідає більше 75 % загального енергоспоживання скляного виробництва (рис. 7.1). Іншими значущими областями енергоспоживання є живильники, процес формування, відпал, обігрів підприємства і загальне забезпечення. Типовий розподіл споживання для склотарного виробництва: піч, включаючи вироблення – 79 %, живильники – 6 %, стиснене повітря – 4 %, охолодження форм – 2 %, Лери – 2 % і решта – 6 %.

У скляної галузі продовжує зростати використання природного газу, що визначається його високою чистотою, легкістю управління процесом, і відсутністю необхідності в ємностях для його зберігання. Багато виробників також вважають за краще природний газ рідкого палива для того, щоб знизити викиди оксиду сірки.

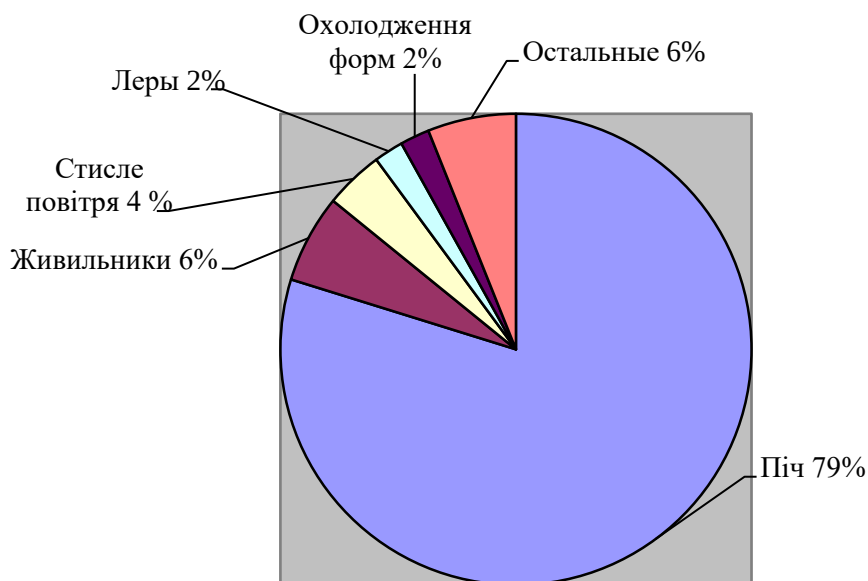


Рисунок 7.1 – Питомі енерговитрати виробництва скляної продукції

У попередні десятиліття основним паливом для скловаріння було рідке паливо, від важкого до легкого і з різним ступенем чистоти і змістом сірки. Загальна думка в галузі полягає в тому, що в зв'язку з більшою випромінює здатністю полум'я рідкого палива воно забезпечує більш ефективну передачу енергії розплаву. У міру накопичення досвіду використання природного газу

ефективність і можливості управління процесом, пов'язані з використанням газу, наближаються до рівнів, досягнутим в відношенні рідкого палива.

Більшість великих печей обладнані таким чином, щоб використовувати і природний газ і рідке паливо, і для зміни палива потрібно тільки зміна пальників. У багатьох випадках постачання газом в пікові періоди може бути непостійним, і це викликає необхідність зміни палива. Цілком звичайної також є практика застосування рідкого палива на одній-двох парах пальників печей, в основному використовують газ, для збільшення можливостей контролю надходить теплоти.

Третім типовим джерелом енергії для скловаріння є електроенергія. Вона може використовуватися як єдине джерело і в комбінації з вичопним паливом, як описано нижче. Електроенергія може застосовуватися для передачі енергії трьома основними способами: резистивний нагрів, коли струм проходить через скломасу; індукційний нагрів, коли теплота вводиться шляхом зміни навколишніх магнітних полів; і шляхом використання нагрівальних елементів.

Вартість енергії для скловаріння є також однією з найзначніших статей поточних витрат для скляних підприємств і являє собою значний стимул для зниження споживання енергії. Основні методи для зниження споживання енергії перераховані нижче:

Використання регенеративних печей. Сучасні скловарні печі з обігрівом вичопними видами палива вимагають подачі великих кількостей повітря для забезпечення процесу горіння необхідною кількістю кисню. Для підігріву цього повітря використовується тепло відхідних пічних газів. при цьому досягаються більш високі температури полум'яних смолоскипів і найкраща передача тепла варимо в печі шихті. Також більш ефективно в порівнянні з іншими традиційними типами печей, що використовують вичопне паливо, в зв'язку з більш ефективною системою підігріву повітря для спалювання палива, що забезпечує нагрів до 1 400 °С. Низький рівень споживання енергії на тонну скломаси призводить до зниження питомих викидів забруднюючих речовин і CO₂. Регенеративні ванні печі, в залежності від місця розташування пальників в них і спрямування полум'я, поділяються на

дві основні групи: ванні печі з підковоподібним і з поперечним напрямком полум'я.

Використання рекуператорів. Дозволяє забезпечити дуже хорошу керованість розподілом температур в басейні, такі печі застосовуються в тих випадках, коли необхідно забезпечити високу гнучкість процесу з мінімальними капітальними витратами, особливо в тих випадках, коли обсяг виробництва занадто малий для того, щоб виправдати застосування регенераторів. Рекуператори є теплообмінники безперервного типу. Гарячі гази і холодне повітря для горіння проходять через два паралельних, але відокремлених один від одного каналу, причому передача тепла відбувається через проміжну стінку. Застосовується, в основному, два види сталевих рекуператорів: щілинні рекуператори і трубчасті блокові рекуператори.

Використання примусового кисневого дуття. Метод заснований на заміні повітря для горіння киснем (чистотою більше 90 %). Видалення центральної частини азоту з атмосфери горіння веде до зменшення обсягу димових газів на 75–80 % в залежності від чистоти використовуваного кисню. Забезпечується економія енергії, оскільки немає необхідності в нагріванні атмосферного азоту до температури полум'я. Економія енергії може перевищувати 50 % на малих печах. Для середньої за розміром рекуперативної печі без застосування спеціальних заходів щодо економії енергії, зі стандартним рівнем теплоізоляції і використанням тільки внутрішнього склобою, перехід на примусове кисневе дуття дозволить знизити споживання енергії на 20–50 % (зазвичай в діапазоні 25–35 %), для великих енергоефективних регенеративних печей з оптимізованими тепловими характеристиками економія буде меншою (у діапазоні 5–10 %).

Варіння скла з комбінованим використанням викопного палива і електроенергії. Існують два принципових підходи до комбінованого використання для скловаріння викопного палива і електроенергії, а саме: обігрів завдяки використанню енергії палива і підігрів з допомогою електроенергії, і скловаріння з використанням електроенергії та допоміжних підігрівом з використанням палива. Цей метод може використовуватися тільки як засіб забезпечення необхідних параметрів технологічного процесу за умови

економічної ефективності. Зокрема, електропідігрів може використовуватися для поліпшення конвективних потоків в обсязі скломаси, що призводить до інтенсифікації теплопередачі і сприяє освітленню скломаси.

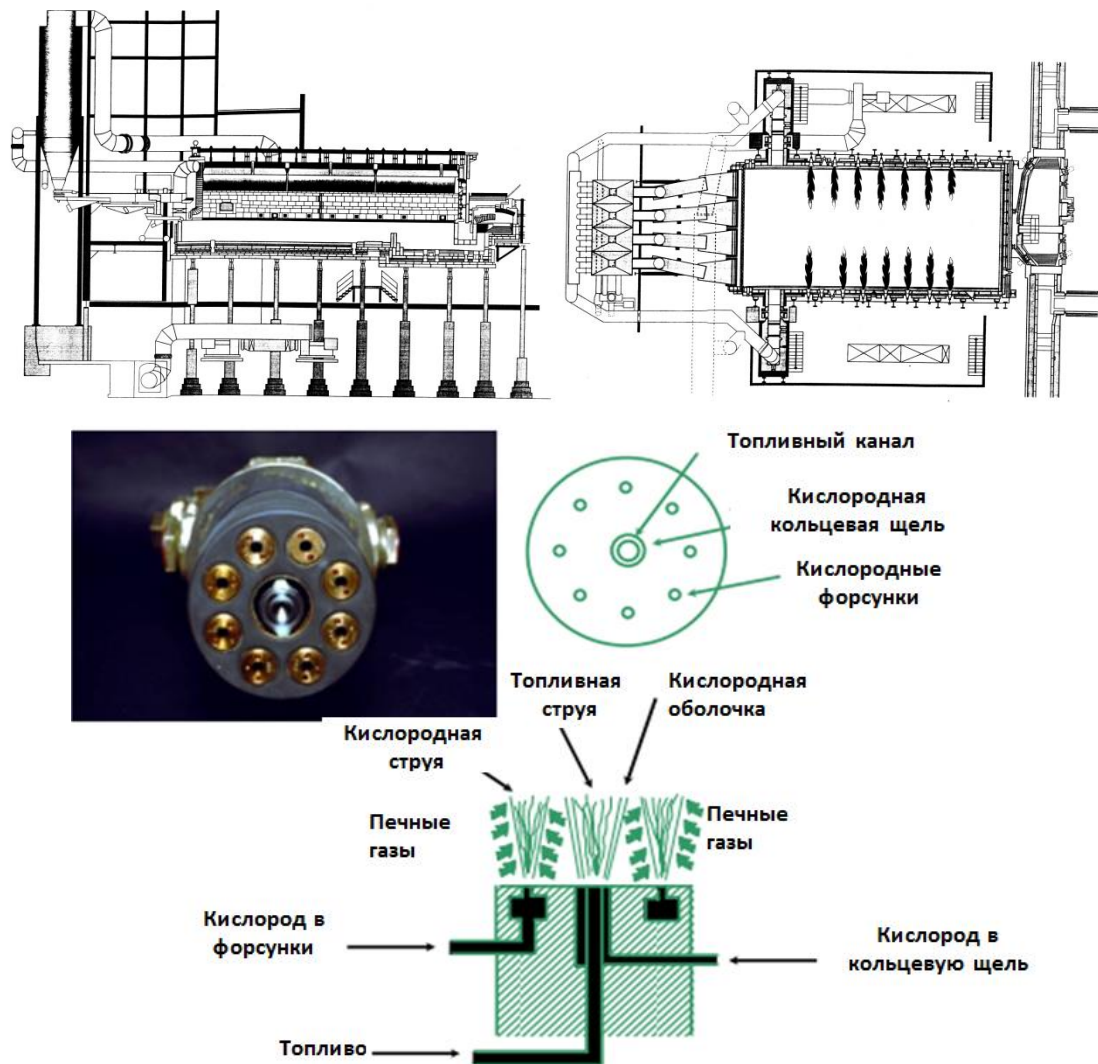


Рисунок 7.2 – Піч із примусовим кисневим дуттям

Варіння скла в електричних печах. Електричні печі надзвичайно теплоефективні, зазвичай вони вимагають у 2–4 рази менше енергії, ніж традиційні паливні печі. Низькі втрати сировинних матеріалів, характерні для використання цього методу, полегшують утилізацію вловленої фільтраційним обладнанням шихти, а також знижують втрати матеріалів, особливо значущі для токсичних і/або дорогих матеріалів, зокрема, оксидів свинцю, фторидів,

сполук миш'яку, бури та т. п. Повна заміна процесу спалювання викопного палива усуває виділення продуктів горіння, зокрема теплових оксидів азоту, діоксиду вуглецю, діоксиду сірки. Цей метод ефективний для печей малої продуктивності (рис. 7.2).

Періодичне плавлення шихти, поліпшення в системах горіння і теплообміну. В основі методу лежать оптимізація складу шихти і методів спалювання палива (напр., пальники з низьким рівнем викидів NO_x , стехіометричне горіння, спалювання газу або рідкого палива), що забезпечує більшу ефективність використання енергії і менші викиди шкідливих речовин.

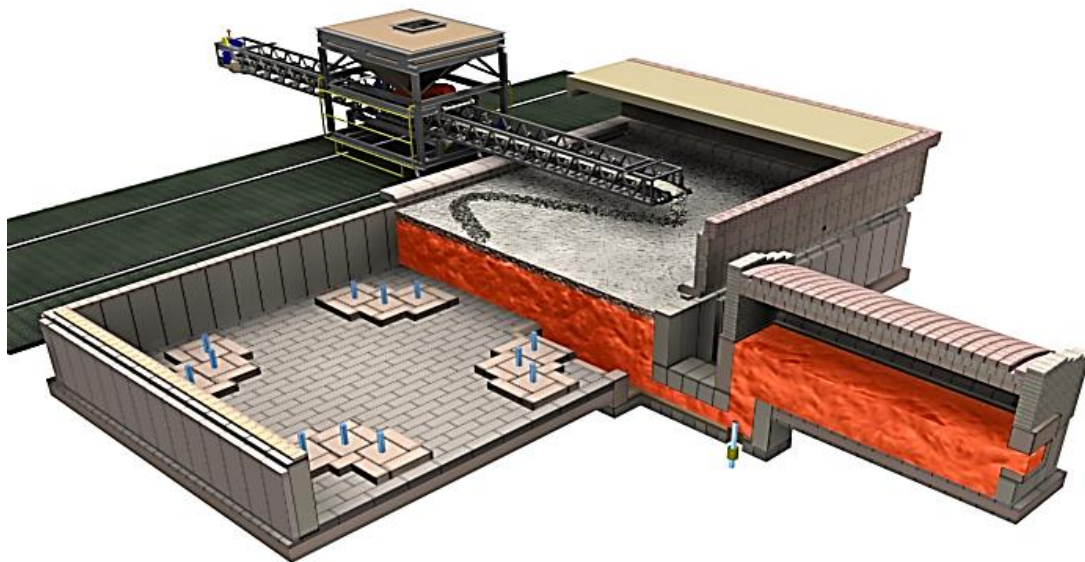


Рисунок 7.3 – Гарнісажна ванна електрична піч (витрати тепла на варіння

1 кг скла складають 0,9–1,0 кВт · год/кг)

Використання склобою. Склобій має більш низькі вимоги по енергії, необхідної для плавлення, ніж сировинні матеріали шихти, оскільки у ньому відбулися ендотермічні реакції, пов'язані з формуванням скла. Тому маса склобою є приблизно на 20 % меншою порівняно із еквівалентною кількістю шихти. Збільшення частки склобою в сировині дозволяє заощадити енергію. Використання склобою також зазвичай приводить до значного зниження витрат, оскільки зменшується споживання і енергії, і сировинних матеріалів. Використання склобою може здійснюватися на всіх типах печей (де використовують викопне паливо, примусове кисневе дуття або електропідігрів). Використання 10 % склобою в шихті знижує витрати палива у середньому на 4,5 %.

Попередній підігрів шихти та склобою. Системи підігріву склобою шихти теоретично можуть встановлюватися на будь-якій скловарної печі з часткою склобою вище 30 %. Нагрівання шихти і склобою здійснюється шляхом використання надлишкової теплоти димових газів, що забезпечує істотну економію енергії. Метод ділиться на прямий і непрямий підігрів. За прямого підігріву використовується прямий контакт між димовими газами і сировиною (склобом і шихтою) за протилежного їх руху. Під час цього досягається нагрів склобою до 400 °С. Непрямий підігрівач становить протиточний теплообмінник із теплообміном через пластину, на якій нагрівається сировинні матеріали до температури біля 300 °С.

Використання котлів-утилізаторів надлишкової теплоти. Метод заснований на пропущенні димових газів безпосередньо через відповідний водотрубний котел для виробництва пари. Пар може використовуватися для обігріву (обігріву приміщень або обігріву ємностей і трубопроводів мазуту), або за допомогою турбіни використовуватися для виробництва електроенергії або приведення в рух устаткування, наприклад, компресорів або вентиляторів секційних машин. Доцільність застосування цього методу визначається загальною ефективністю, якої можна досягти шляхом його застосування, з урахуванням ефективності використання отриманого пара.

Випарне охолодження стін скловарних печей. Метод заснований на установці охолоджуючих елементів на зовнішній частині печі для утилізації надлишку теплової енергії. Охолоджувальні елементи встановлюють або із зовнішньої частини кладки, або з внутрішньої сторони. Сутність системи полягає в заміні технічної охолоджувальної води хімічно очищеною, яка відбирає тепло завдяки кипінню. Це забезпечує безнакипний режим роботи і використання тепла, яке втрачається за охолодження, шляхом утилізації пари установками випарного охолодження. За випарного охолодження пара заводських котелень заміщається парою установок випарного охолодження, завдяки чому, відповідно, знижується витрата палива в котельнях. Також випарне охолодження дозволяє збільшити термін експлуатації стінок шляхом зниження зношування кладки печі в агресивному середовищі.

Застосування високоефективних вогнетривів нового покоління. Використання високоякісних вогнетривів дозволяє знизити енергоспоживання шляхом зниження втрат тепла через стінки печі, а також знизити матеріальні витрати завдяки збільшенню терміну експлуатації печей. Застосовуються такі види електроплавлених вогнетривів: бадделеіто-корундові, хромоксидні, високоцирконисті й високоглиноземисті.

Тема 7.3 Сучасні вимоги до екологічних норм підприємств скляної та емальовальної галузі щодо викидів в атмосферу та методи їхнього знешкодження

Загальноєвропейський і національний контекст. Регулювання викидів у скляній та керамічній промисловості у країнах Європейського Союзу ґрунтується на положеннях Директиви 2010/75/ЄС «Промислові викиди» (Industrial Emissions Directive – IED) та документах BREF (Best Available Techniques Reference Documents), що визначають вимоги до застосування найкращих доступних технологій. Ці стандарти охоплюють широкий спектр

забруднювачів та орієнтують виробників на поступове зниження екологічного навантаження через технологічну модернізацію.

В Україні нормативно-правова база у сфері охорони атмосферного повітря поступово гармонізується з європейським законодавством. Основними документами є Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (1992, із наступними змінами), національний стандарт ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління», гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі населених пунктів, а також нормативи допустимих викидів (НДВ), що розробляються для конкретних виробництв. Таким чином, екологічна політика в Україні зорієнтована на поетапне впровадження європейських підходів до контролю викидів.

Основні контрольовані забруднювачі. У виробництві скла й кераміки формуються багатокомпонентні газові потоки, що містять низку небезпечних речовин. До основних забруднювачів належать:

- 1) пилові викиди (складаються із SiO_2 , Al_2O_3 , PbO , B_2O_3 , фторидів);
- 2) оксиди азоту (NO_x), що утворюються під час високотемпературного горіння у скловарних печах;
- 3) діоксид сірки, який виділяється за використання сірковмісного палива та сировини;
- 4) оксид вуглецю та леткі органічні сполуки (ЛОС);
- 5) фториди й хлориди, характерні для емалевих виробництв;
- 6) важкі метали (свинець, кадмій, сурма, арсен), що особливо властиві для виробництва емалей і глазурей.

Норми граничних викидів. Згідно з сучасними довідниками ВАТ для скловарних печей, допустимі рівні забруднювачів визначаються у таких межах:

- 1) NO_x – 400–800 мг/м³ для установок без каталітичних систем, ≤ 500 мг/м³ за застосування селективного відновлення;
- 2) SO_2 – 200–800 мг/м³ залежно від виду сировини;
- 3) пил – ≤ 20 мг/м³ для нових установок;
- 4) фториди – ≤ 5 мг/м³.

В Україні нормативи допустимих викидів (НДВ) визначаються на основі інвентаризації джерел забруднення та затверджуються відповідними органами охорони довкілля на регіональному рівні. Це забезпечує індивідуальний підхід до кожного підприємства з урахуванням специфіки його виробництва.

Методи знешкодження викидів. Контроль і зменшення викидів у скляній та керамічній промисловості здійснюються комплексом технічних та організаційних заходів:

1) газоочисні споруди включають циклони та рукавні фільтри для механічного вилучення пилу, електрофільтри з ефективністю очищення до 99 %, вологі скрубери для SO_2 , HF і твердих частинок, а також адсорбційні системи для вилучення ЛОС і важких металів;

2) технологічні заходи спрямовані на оптимізацію умов горіння з метою зменшення утворення NO_x , використання палива з низьким вмістом сірки, заміну свинцевмісних і кадмієвих емалей на екологічні альтернативи, а також перехід на електроплавильні печі, які дозволяють знизити викиди NO_x та SO_2 ;

3) спеціалізовані системи очищення включають технології селективного каталітичного та некаталітичного відновлення для контролю за NO_x , суху та напівсуху десульфуризацію із застосуванням $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або NaHCO_3 , а також конденсаційні установки для уловлювання летких металів та фторидів.

Сучасні тенденції екологічної політики спрямовані на посилення регулювання викидів парникових газів. У ЄС діє механізм прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ), а також розглядаються додаткові податкові механізми щодо CO_2 .

Перспективним напрямом є впровадження цифрових систем моніторингу (CEMS – Continuous Emissions Monitoring Systems), що забезпечують безперервний контроль складу та обсягу викидів у реальному часі. Додатково розвиваються технології замкнених циклів і рециклінгу газів у виробництві скла, що дає змогу не лише знижувати навантаження на довкілля, а й підвищувати ресурсоефективність виробництв.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондратенко Н. О. Стратегія ресурсозбереження регіональних економічних систем: монографія / Н. О. Кондратенко ; Харків : НТМГ, 2010. – 308 с.
2. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010–2015 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 // Урядовий кур'єр. – 2010. – 24 бер. – С. 15–16.
3. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження та альтернативних видів палива : Постанова Кабінету Міністрів України від 3 серпня 2011 р. № 841 // Офіційний вісник України. – 2011. – № 61. – С. 8–10.
4. Россохін С. О. Регіональний вимір державної політики в сфері енергозбереження / С. О. Россохін // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 95. – С. 286–292.
5. Менеджмент регіонального розвитку : монографія / за ред. О. В. Васильєва, К. А. Фісуна. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 243 с.
6. Грищенко С. Г. Організація переробки відходів виробництва – ключова умова підвищення ефективності роботи гірничо-металургійного комплексу України: [енерго- та ресурсозбереження. Переробка відходів] / С. Г. Грищенко, В. К. Грановський // Екологія та промисловість. – 2012. – № 2. – С. 87–91.
7. Клепиков В. Б. Економічний, енергоресурсозберігаючий та екологічний аспекти економії електроенергії в Україні / В. Б. Клепиков, С. А. Меховіч, С. В. Клепікова // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2010. – № 12. – С. 43–48.
8. Поспелов О. В. Системи технологій галузі (міське господарство) : монографія / О. В. Поспелов. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 182 с.

9. Кондратенко Н. О. Особливості ресурсозбереження сучасної економічної діяльності / Н. О. Кондратенко. – Харків : НТМТ, 2010. – 114 с.
10. Войтович В. Г. Енергетичний менеджмент: теорія і практика / В. Г. Войтович, М. М. Кулик. – Київ : Наукова думка, 2019. – 312 с.
11. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018. – 28 p.
12. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal of the European Union, 2010. – L334. – P. 17–119.
13. Власюк А. І. Екологічне право України / А. І. Власюк, В. Я. Шевчук, І. М. Синякевич. – Київ : Юрінком Інтер, 2020. – 512 с.
14. United Nations Economic Commission for Europe. Guidelines for developing emission limit values. Geneva : UNECE, 2019. – 42 p.
15. ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015 IDT). Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. – Чинний від 2015–21–12. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 37 с.

Електронне навчальне видання

ВОРОНОВ Геннадій Костянтинович,
ХРИСТИЧ Олена Валеріївна,
ПИЛИПЕНКО Олексій Іванович

**ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
У ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів I курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання
зі спеціальності G1 – Хімічні технології та інженерія,
освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія»)*

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 151Л

Підп. до друку 08.10.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 7,1.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.