

Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки
Хімічний факультет
Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

О. А. Караїм

**ТЕХНОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
БЕЗВІДХОДНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Конспект лекцій

ЛУЦЬК

Вежа-Друк

2014

УДК 502.17(075)
ББК 20.1я73-2
К 21

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Східноєвропейського національного університету
імені Лесі Українки
(протокол № 3 від 19 листопада 2014 року)*

Рецензенти:

П. П. Савчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького національного технічного університету

Л. Д. Гулай, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки

Караїм О. А.

К 21 Техноекологічні основи безвідходних виробництв: конспект лекцій / Ольга Анатоліївна Караїм. – Луцьк: Вежа-Друк, 2014. – 88 с.

У виданні висвітлено поняття маловідходних та безвідходних виробництв. Розглянуто основні фізико-хімічні закономірності при розробці маловідходних та безвідходних технологічних процесів. Розкрито принципи створення екологічно безпечних виробництв на основі маловідходних і безвідходних технологій, такі як системність, комплексність, циклічність та ін.

Рекомендовано для студентів вищих навчальних закладів напряму «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

УДК 502.17(075)
ББК 20.1я73-2

© Караїм О. А., 2014

© Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 2014

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ТЕМА 1. ПОНЯТТЯ МАЛОВІДХОДНИХ ТА БЕЗВІДХОДНИХ ВИРОБНИЦТВ	
<i>Лекція 1.</i> Актуальність розробки безвідходних промислових виробництв.....	6
<i>Лекція 2.</i> Маловідходні та безвідходні виробництва. Основні поняття та визначення.....	13
<i>Лекція 3.</i> Проблеми створення маловідходних та безвідходних виробництв.....	22
<i>Лекція 4.</i> Критерії безвідходності виробництва.....	29
ТЕМА 2. ОСНОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРИ РОЗРОБЦІ МАЛОВІДХОДНИХ І БЕЗВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	
<i>Лекція 5.</i> Термодинамічні розрахунки хіміко-технологічних процесів.....	33
<i>Лекція 6.</i> Використання законів хімічної кінетики при виборі технологічного режиму.....	40
ТЕМА 3. ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ВИРОБНИЦТВ НА ОСНОВІ МАЛОВІДХОДНИХ І БЕЗВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
<i>Лекція 7.</i> Основні напрямки. Принцип системності. Принцип доцільності. Зміна технологічних принципів у виробництві конкретної продукції.....	45
<i>Лекція 8.</i> Зменшення кількості стадій виробництва. Удосконалення технологічного обладнання.....	50
<i>Лекція 9.</i> Принцип циклічності. Створення оптимальних технологічних схем із замкнутими матеріальними потоками.....	55
<i>Лекція 10.</i> Замкнені і безстічні системи водного господарства.....	60
<i>Лекція 11.</i> Розробка енерготехнологічних процесів. Ексергетичний аналіз.....	64
<i>Лекція 12.</i> Принцип комплексності.....	71
<i>Лекція 13.</i> Принцип рекуперації промислових відходів.....	76
<i>Лекція 14.</i> Вибір методу використання і переробки відходів. Комбінування виробництв.....	79
<i>Лекція 15.</i> Приклади комплексної утилізації відходів різних виробництв.....	81
<i>Лекція 16.</i> Вторинні енергетичні ресурси.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

«У хімії немає відходів, а є невикористана сировина»

Д. І. Менделєєв

ВСТУП

Щорічно людство вилучає з природи десятки мільярдів тонн природної сировини – це вугілля, руда, нафта, газ, різні будівельні матеріали, деревина, водні ресурси, кисень та інші речовини. Однак в кінцевій продукт перетворюється лише 1,5–2 %. Все інше складають відходи, які часто завдають шкоди навколишньому середовищу. Однією з основних причин цього є недосконалість технологічних процесів.

Порушення людиною окремих ланок в загальному комплексі взаємозв'язку явищ і предметів природи ініціює ланцюгову реакцію, розпад історично сформованої екологічної системи. Наростання техногенних викидів (порядку 30 млрд. т на рік), що забруднюють біосферу (сферу життя), вже перевищує швидкість природного кругообігу речовин в окремих його ланках, тобто швидкість використання природи вже переступила поріг її самозахисту та самовідновлення. У зв'язку з цим застосовувані людиною технології, як виробництва, так і споживання продукції, в усіх сферах господарства країни повинні бути замкнутими, безвідходними, аналогічно тому, як побудований біогеохімічний цикл міграції речовини і енергії в біосфері. Завдання сьогодення полягає в переході до безвідходних технологій виробництва продукції, її споживання та експлуатації техніки.

Підвищення ефективності заходів з охорони навколишнього середовища пов'язано, насамперед, з широким впровадженням ресурсозберігаючих, маловідходних і безвідходних технологічних процесів, основні аспекти яких наводяться в даному конспекті лекцій.

Науковою основою створення безвідходних виробництв є ряд взаємопов'язаних принципів, що лежать в їх основі: системності, циклічності матеріальних потоків, комплексного використання сировини та інших технологічних принципів, що дозволяють знижувати відходи виробництв. При розробці маловідходних і безвідходних виробництв на будь-якому рівні необхідно дотримання всіх цих принципів.

Дисципліна «Техноекологічні основи безвідходних виробництв», для вивчення якої призначений запропонований конспект лекцій, включає три основні теми:

- поняття маловідходних та безвідходних виробництв;
- основні фізико-хімічні закономірності при розробці маловідходних і безвідходних технологічних процесів;
- принципи створення виробництв на основі маловідходних і безвідходних технологій.

Запропонований конспект лекцій рекомендовано для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

ТЕМА 1

ПОНЯТТЯ МАЛОВІДХОДНИХ ТА БЕЗВІДХОДНИХ ВИРОБНИЦТВ

Лекція 1

Актуальність розробки безвідходних промислових виробництв

План

1. Передумови створення безвідходних промислових виробництв
2. Поняття технології, її зв'язок з охороною біосфери
3. Роль вітчизняних вчених у створенні наукових основ безвідходних технологічних процесів
4. Моделювання процесів створення екологізованої технології

Передумови створення безвідходних промислових виробництв

Оскільки в нашій країні пред'являлися досить жорсткі вимоги до ГДК різних токсичних речовин в повітряному і водному басейнах, розвиток промислових виробництв історично йшов шляхом будівництва очисних споруд, при цьому було досягнуто значних успіхів. Проте сьогоднішній стан цих споруд (які проектувались та будувались відповідно до раніше чинних нормативів) вже не спроможний без удосконалення технології і застосування нових високоефективних реагентів перешкодити доступу в навколишнє природне середовище шкідливих речовин.

У даний час для досягнення високого ступеня очистки газоподібних, рідких і твердих відходів до екологічно безпечного рівня потрібні витрати, рівні з капітальними вкладеннями в розвиток основної технології, а іноді і перевищуючі їх.

Аналіз динаміки росту відходів найважливіших галузей промисловості показує, що, хоч вихід відходів на одиницю продукції, що випускається систематично знижується, загальний обсяг шкідливих викидів поки що зростає. Сьогодні встановлено, що навіть при найбільших масштабах будівництва очисних споруд не вдається повністю вирішити завдання захисту біосфери від шкідливого впливу промислового виробництва. Так, у США за рік формується 265 млн тонн екологічно небезпечних відходів, у країнах

Європейського Союзу – 35 млн тонн. Світовий об'єм відходів становить 400 млн тонн (П. Бусон, 1989).

Усі види виробництва необхідно екологізувати для зменшення їх несприятливого впливу на навколишнє середовище. *Екологізація* – це поширення екологічних принципів та підходів на природничі та гуманітарні науки, на виробничі процеси та соціальні явища. У сфері матеріального виробництва екологізація природокористування, на думку М. Пура (1982), включає:

- максимальну ефективність користування ресурсами;
- відтворення ресурсів та їх охорону від виснаження;
- застосування найбільш доцільних способів використання ресурсів.

У галузі виробництва це – перехід на безвідходні технології, дбайливе використання невідновних ресурсів, економія енергії, відновлення лісів, повне знешкодження всіх видів відходів до їх надходження у навколишнє середовище. Така зміна виробництва отримала назву *екологічної конверсії*.

У широкому розумінні вихід із стану екологічної кризи можливий лише при вирішенні комплексу економічних, екологічних та соціальних проблем на основі концепції екологічної конверсії виробництва, яка відкриває найбільш реальний шлях до загальної екологічної рівноваги. *Екологічна рівновага* – це баланс природних та антропогенних процесів, що забезпечує максимальний еколого-соціально-економічний ефект упродовж необмеженого часу.

Перспективним вирішенням проблеми є створення екологічно нешкідливих технологій – *безвідходних* (БВТ), а на перших етапах – *маловідходних* (МВТ).

Характерною рисою БВТ є таке використання сировини та енергії, при якому процес виробництва продукції не супроводжується забрудненням навколишнього середовища, тобто не залишає екологічно шкідливих наслідків.

До концепції БВТ існує два підходи. Один з них заснований на законі збереження речовини, згідно з яким матерія завжди може бути перетворена в ту чи іншу продукцію. А якщо це так, то завжди можна створити такий технологічний процес, у якому всі відходи – екологічно небезпечні речовини, будуть перетворюватися в безпечний продукт або вихідну сировину.

Відповідно до другого підходу, повністю безвідходну технологію не можна створити ні практично, ні навіть теоретично, оскільки це

певним чином суперечить другому закону термодинаміки. Подібно до того як енергію не можна повністю перевести в корисну роботу, так і сировину неможливо повністю перевести в корисний екологічно безпечний продукт.

Другий підхід здається не тільки теоретично більш обґрунтованим, але і практично більш реальним. Іншими словами, повністю безвідходна технологія – це ідеальна система, до якої має прагнути будь-який реальний технологічний процес, і чим більшим буде це наближення, тим меншими будуть екологічно небезпечні наслідки.

У цьому відношенні більш реальною є так звана *маловідходна технологія*. Під МВТ зазвичай мається на увазі такий спосіб виробництва продукції, при якому шкідливий вплив на довкілля доведено до санітарно-гігієнічних норм і відповідних ГДК.

Концепція безвідходного виробництва й термін «безвідходна технологія» часто піддаються досить різкій критиці. Ряд вчених виступають проти терміну «безвідходна технологія», віддаючи перевагу термінам «безвідходний технологічний процес» або «безвідходне виробництво».

Зрештою терміни «безвідходна технологія» і «безвідходне виробництво» висловлюють єдине поняття, і важливим є те, що в нього вкладають. Хоч ще раз зазначимо, що це поняття є умовним, оскільки практично повністю позбутися відходів і уникнути впливу виробництва на навколишнє середовище неможливо. Проте сучасний рівень науки і техніки, що базується на енерго- і ресурсозберігаючих технологіях, дозволяє зводити їх до мінімуму.

Поняття технології, її зв'язок з охороною біосфери

Рациональне використання навколишнього середовища та його охорона від шкідливих техногенних процесів сьогодні набуває все більшого значення. Причина екологічної кризи полягає зовсім не в інтенсивному розвитку науки і техніки, а навпаки – в недосконалості технологій. Основна частина технологічних процесів сформувалася в умовах повної зневаги до взаємодії з навколишнім середовищем. Звідси – екологічна недосконалість існуючого виробництва. І ліквідувати її можна, використовуючи досягнення науки й техніки.

Під *технологією* в широкому значенні цього слова розуміють науковий опис методів і засобів виробництва в певній галузі

промисловості. Наприклад, методи і засоби виготовлення машин і апаратів є предметом технології машинобудування та ін.

Технологію поділяють на *механічну і хімічну*. Процеси *механічної* технології базуються переважно на механічній дії, яка змінює зовнішній вигляд або фізичні властивості оброблюваних речовин, але не впливає на їх хімічний склад. *Хімічна* технологія розглядає процеси перетворення складу, властивостей і внутрішньої будови речовини, в основі яких є складні за своєю природою хімічні і фізико-хімічні явища. Цей поділ у значній мірі умовний, оскільки при зміні виду матеріалу часто змінюються його склад і хімічні властивості. Так, наприклад, ливарне виробництво належить до механічної технології, але при литті металів відбуваються і хімічні реакції. Хімічні процеси, в свою чергу, в усіх виробництвах супроводжуються механічними.

Говорячи про технологію, корисно згадати її визначення, дане Д. І. Менделєєвим: «... вчення про вигідні (тобто ті що вимагають найменше людської праці та енергії природи) прийоми переробки природних продуктів у продукти споживання (необхідні, або корисні, або зручні) для використання людьми ...». Д. І. Менделєєв вважав, що технологія «... повинна вивчати найвигідніші способи, вибрати із можливих найбільш прийнятний – за вигодою – даним умовам часу і місця, щоб надати продукту найбільшу дешевизну відповідно до бажаних властивостей і форм».

Думка Д. І. Менделєєва про прив'язку технології до умов часу та місця вельми актуальна для нашої епохи. У зв'язку з цим слід сказати, що технологія повинна забезпечувати виробництво необхідних продуктів не лише з мінімальними витратами сировини, енергії, робочої сили, але і зі збереженням екологічних умов, які сприятимуть мінімальним викидам шкідливих речовин у біосферу.

Значна роль у вдосконаленні та розробці нових ефективних способів очистки промислових викидів від шкідливих домішок належить хімічній технології.

Роль вітчизняних вчених у створенні наукових основ безвідходних технологічних процесів

Велике значення для створення наукових основ безвідходних виробництв мають праці представників вітчизняної школи.

Практично всі основні принципи, на яких базується сьогодні концепція безвідходних виробництв (циклічності, комплексності, утилізації відходів) були сформульовані вітчизняними вченими. Наведемо деякі приклади.

Ще Д. І. Менделєєв зазначав, що «в хімії немає відходів, а є невикористана сировина». У 30-х роках ХХ ст. вперше сформулював еколого-економічну концепцію комплексного використання сировини академік А. Е. Ферсман. «Комплексна ідея, – писав Ферсман, – є ідея по суті економічна, яка створює максимальні цінності з найменшою затратою коштів і енергії, але це ідея не тільки сьогоднішнього дня, це ідея охорони наших природних багатств від виснаження, ідея збереження наших природних запасів на майбутнє».

В. І. Вернадський у своєму вченні про ноосферу говорить: «Перехід у новий еволюційний стан – ноосферу, можливий лише при збереженні циклів речовини і енергії, які склалися в біосфері».

Термін «безвідходні технології» був вперше запропонований радянськими вченими, академіками М. М. Семеновим та І. В. Петряновим-Соколовим у 1972 р. Науковці висловили думку про необхідність, можливість і неминучість створення безвідходних технологій. І. В. Петрянов-Соколов провів кропітку і ретельне дослідження розвитку промисловості та обсягів використання природних ресурсів (з 1909 р.) і встановив, що об'єм світового промислового виробництва збільшується за експоненціальним законом. Кількість переробленої сировини й відходів, які утворюються, також зростає експоненціально (зростання величини, коли швидкість росту пропорційна значенню самої величини). Також необхідно звернути увагу, що витрати на знешкодження і переробку відходів також зростають експоненціально і вже зараз складають 8 – 10 % вартості виробленої продукції.

У наступні роки ідеї безвідходних і маловідходних виробництв розвивали академіки Б. Я Ласкорін, Г. А. Ягодин, В. В. Кафаров д.т.н., професор В. А. Зайцев та ін. Згодом цей термін набув широкого розповсюдження і за кордоном.

Моделювання процесів створення екологізованої технології

Насамперед слід визначити форму та зміст екологізованих технологій. Таке визначення може дати модель екологізованого (безвідходного) виробництва. Створення моделі базується на

основних принципах існування маловідходних виробничих комплексів.

Принципова модель екологізованої технології може визначити окремі моделі будь-яких виробництв.

Така модель повинна складатись з наступних елементів:

1. Джерела сировини та допоміжних матеріалів.
2. Джерела енергії.
3. Основне виробництво з переробки сировини або напівфабрикатів.
4. Вловлювання відходів основних виробництв.
5. Виробництво з переробки (утилізації) відходів основних виробництв, які працюють замкненими циклами.
6. Обладнання із вловлювання відходів та знезараження викидів енергетичних установок, основних виробництв, виробництв з переробки відходів промислових комплексів та інфраструктури.
7. Комунікації всередині виробництва і їх зв'язки з інфраструктурою та іншими виробництвами.

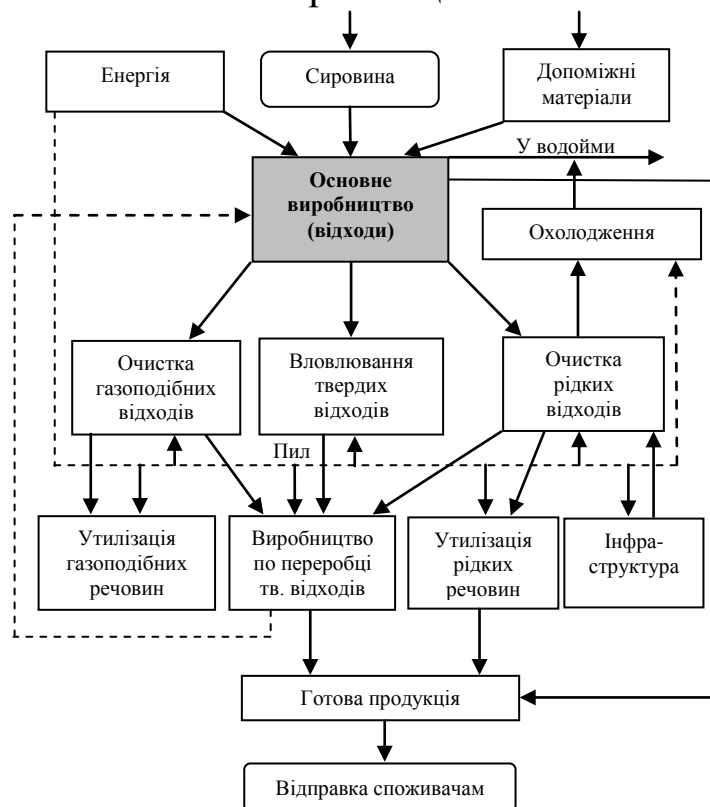


Рис. 1. Модель екологізованого промислового комплексу

У екологізованому виробничому комплексі (рис. 1), сировина, енергія, допоміжні матеріали постачаються з джерел, які знаходяться в даному промисловому регіоні, або з інших регіонів. Виробництва

переробки відходів повинні входити до складу цього промислового комплексу, а підприємства-споживачі продукції цих виробництв можуть знаходитись як у цьому промисловому комплексі, так і в інших регіонах.

Аналіз принципової моделі екологізованого виробництва показує, що з виробництва виходить тільки готова продукція, яка відправляється споживачам, причому вона складається з продукції не тільки основного виробництва, але і виробництв, які переробляють (утилізують) відходи як основного виробництва, так і свої власні. Крім того, цей комплекс відводить очищені газоподібні викиди та очищені стічні води, які з певних причин не можуть бути використані самим комплексом (перевага, безумовно, надається використанню вод в замкненому циклі цього комплексу). Утилізації всередині екологізованого комплексу підлягає і фізична теплота всіх продуктів (відходів та готової продукції), які виводяться з комплексу.

Все це стосується також інфраструктури, яка є невід'ємною частиною екологізованого комплексу, в чому і полягає основний принцип моделі екологізованого промислового комплексу.

На базі принципової моделі екологізованого виробництва розробляють окремі моделі екологізованих виробництв (для різних галузей), які будуть зберігати в собі викладені принципи.

Створення екологізованих виробництв – це цілеспрямована діяльність суспільства, яка базується на теоретичних положеннях екологізації та враховує технічні, технологічні, екологічні аспекти. Проте для її реалізації необхідна відповідна матеріальна база.

Слід враховувати, що технологія, яка ґрунтується на застарілих уявленнях про процеси та на малоефективних методах ведення цих процесів, не може бути екологізованою. Якщо навіть в деяких випадках вдається знайти якесь технічне вирішення, яке частково зменшує негативний вплив цих процесів на навколишнє середовище, то це буде досягнуто за рахунок матеріальних, фінансових та енергетичних витрат, що себе не окуплять.

Першим кроком, який забезпечить ефективність екологізації, повинно бути створення принципово нових технологічних процесів, які базуються на досягненнях сучасної науки та техніки. Нові технологічні процеси повинні бути ресурсозберігаючими, енергозберігаючими та, по можливості, в замкненому просторі забезпечені сучасним обладнанням (бажано автоматизованим).

Запитання

1. Обґрунтувати передумови створення безвідходних промислових виробництв?
2. Що таке екологізація, екологічна інверсія та екологічна рівновага?
3. Розкрити сутність поняття технологія та її зв'язок з охороною біосфери?
4. Висвітлити роль вітчизняних вчених у створенні наукових основ безвідходних технологічних процесів?
5. Зобразити схематично модель екологізованого промислового комплексу та пояснити її зміст?

Лекція 2

Маловідходні та безвідходні виробництва. Основні поняття та визначення

План

1. Сутність поняття безвідходного виробництва
2. Умовність поняття безвідходного виробництва на прикладі синтезу аміаку
3. Маловідходні технології
4. Чисте виробництво
5. Екотехнологія
6. Вторинна матеріальна сировина
7. Рециклінг відходів
8. Регенерація відходів

Поняття безвідходного виробництва

У досить повному вигляді поняття «безвідходної технології» було сформульовано на Загальноєвропейській нараді зі співпраці в галузі охорони навколишнього середовища (Женева, 1979 г.): «*Безвідходна технологія* – це практичне застосування знань, методів і засобів для того, щоб в межах потреб людини забезпечити найбільш раціональне використання природних ресурсів та енергії і захистити навколишнє середовище». Це визначення мало насамперед декларативний характер.

Розвиток уявлень про довкілля та раціональне природокористування, а також практичні завдання привели до

необхідності сформулювати нове визначення безвідходної технології, яке було прийняте на семінарі Європейської економічної комісії (Ташкент, 1984 р.). Під *безвідходною технологією* розуміють такий принцип організації виробництва, при якому найбільш раціонально і комплексно використовуються сировина і енергія в циклі «сировинні ресурси – виробництво – споживання – вторинні сировинні ресурси» таким чином, що будь-які дії на довкілля не порушують його нормального функціонування, тобто екологічної рівноваги.

У визначенні насамперед підкреслюється необхідність використання сировинних ресурсів в циклі, що включає також і сферу споживання, а це означає, що замкнутим такий цикл може бути тільки в межах територіально-виробничого комплексу (ТВК). Отже, безвідходне виробництво (БВВ) повинно бути практично замкнутою системою, організованою за аналогією з природними екологічними системами. Так, в природних системах продукти життєдіяльності одних організмів використовуються іншими організмами і в цілому здійснюють саморегулюючий біогеохімічний кругообіг речовин. Основу ж БВВ становить свідомо організований і регульований людиною техногенний кругообіг сировини, продукції та відходів.

Другим основним положенням БВВ є обов'язкове включення у виробництво і споживання всіх компонентів сировини. При цьому має бути забезпечено максимально можливе використання потенціалу енергетичних ресурсів, звичайно, обмежене другим законом термодинаміки. Тут також проходить пряма аналогія з природними екосистемами, які, будучи практично замкнутими, не є ізольованими, оскільки через них проходить потік енергії, яку екосистеми отримують від Сонця, поглинають, трансформують і випромінюють в космічний простір. Таким чином, і БВВ є практично замкнутим, але не ізольованим.

І, нарешті, третьою складовою частиною концепції БВВ є збереження (з урахуванням можливого теплового забруднення) сформованої екологічної рівноваги, оскільки завдана виробництвом шкода навколишньому середовищу, не повинна перевищувати допустимий рівень. Під шкодою розуміють фактичні і можливі втрати в результаті негативних змін навколишнього середовища, які обумовлені антропічними факторами.

Примітка. У літературі з екології антропічні фактори називають антропогенними. Обидва слова утворені від слова антропогенез, але мають різний зміст.

На думку В. А. Радкевича, антропогенні фактори керують процесами формування людини і не мають ніякого відношення до впливу на інші організми і до зміни, а тим більше забруднення навколишнього середовища. Останнє обумовлюється антропічними факторами.

Зазначимо, що термін «безвідходне виробництво» в деяких галузях промисловості має інший зміст, відмінний від наведеного вище. Так, в хімічній промисловості до безвідходних належать виробництва, в яких матеріальні ресурси використовуються на 90–98 %.

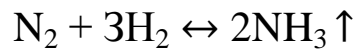
Умовність поняття безвідходного виробництва на прикладі синтезу аміаку

Концепція БВВ в деякій мірі носить умовний характер. У такому аспекті під БВВ розуміють теоретичну межу, ідеальну модель виробництва, яка в більшості випадків може бути реалізована не повною мірою, а лише частково (звідси і МВВ), але з розвитком технічного прогресу – з усе більшим наближенням.

Безвідходне виробництво може мислитися лише теоретично насамперед тому, що закони природи не дозволяють повністю перетворити енергію в роботу (другий закон термодинаміки). Крім того, втрати речовин в технологічних процесах не можуть бути нульовими. Довести їх до нуля, хай навіть ціною великих затрат, неможливо вже тому, що системи вловлювання після певної межі самі почнуть «виробляти» нові відходи в більшій кількості, ніж ті, для яких вони створені. Більше того, всі без винятку промислові хімічні реагенти не є 100 % чистими і містять ту чи іншу кількість домішок. Тому посилення на закони збереження матерії, з яких нібито випливає можливість створення ідеально безвідходних виробництв, не змінюють цього положення.

Найчастіше при оцінці того чи іншого процесу, різних способів отримання одного і того ж продукту не враховують усього сировинного ланцюга.

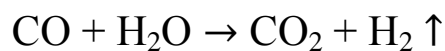
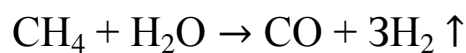
Розглянемо, наприклад, виробництво аміаку. Реакція, що використовується на більшості сучасних аміачних заводів, досить проста і протікає при 450–500° С і тиску близько 30 МПа в присутності каталізатора:



Ніяких відходів тут у відповідності з рівнянням реакції не повинно утворюватися. Чи є це виробництво безвідходним? Ні, оскільки і при виробництві азоту, і при отриманні водню (вихідних реагентів), неминуче, утворюється велика кількість відходів.

Азот виділяють з повітря низькотемпературною його ректифікацією. Але перед основною стадією повітря повинне бути попередньо знепилене, осушене і очищене від вуглекислого газу CO_2 . Осушувальні агенти рано чи пізно вже неможливо буде регенерувати і їх доведеться відправити на звалище, як і вловлений пил, відпрацьовані фільтри (при сухій очистці) або шлами (при мокрій). Очищення від CO_2 вимагає застосування лужних розчинів, які переходять у стічні води.

Водень частіше отримують конверсією природного газу, яка в найпростішому випадку описується рівняннями:



У цьому випадку вихідний природний газ також треба попередньо очистити, насамперед від домішок сірки, а отриманий водень – від залишків CO і великих кількостей CO_2 . Жоден з нині використовуваних способів очистки не гарантує повного видалення домішок з газів, але кожен з них пов'язаний з витратами хімічних реагентів, іноді каталізаторів, і з утворенням відходів в тій чи іншій формі.

Сам синтез аміаку – також на практиці не є безвідходним. Сучасні агрегати синтезу великої потужності оснащені системою повітряного охолодження замість водяного. Але навіть при їх використанні на кожному тоні продукту тут споживається 50–60 m^3 води, частина якої до того ж вимагає попереднього очищення. У відходи також направляються відпрацьовані каталізатори.

Подібним чином можна стадію за стадією розглядати будь-які виробництва, переконуючись, що по-справжньому безвідходних виробництв поки не існує.

Маловідходні технології

Створення БВВ – тривалий процес, який потребує вирішення взаємопов'язаних технологічних, економічних, організаційних та інших завдань. Тому в якості проміжного етапу для практичних завдань допускається маловідходне виробництво (МВВ).

Маловідходні виробництва – ті, які дають такі мінімальні викиди, при яких самоочищувальна здатність природи достатньою мірою перешкоджає виникненню незворотних екологічних змін.

Під *маловідходною технологією* розуміють організацію таких технологічних процесів, «шкідливі наслідки яких не перевищують рівня, допустимого санітарними нормами. При цьому частина сировини все-таки переходить у відходи, які викидаються в навколишнє середовище (в нормах ГДК) або направляються на тривале зберігання або захоронення.

До *основних завдань* маловідходної та безвідходної технологій належать:

- комплексна переробка сировини й матеріалів з використанням усіх їх компонентів на базі створення нових безвідходних процесів;
- створення та випуск нових видів продукції з використанням вимог повторного використання відходів;
- переробка відходів виробництва та споживання з отриманням товарної продукції або будь-яке ефективно їх використання без порушення екологічної рівноваги;
- використання замкнених систем промислового водопостачання;
- створення безвідходних територіально-виробничих комплексів та економічних регіонів.

Чисте виробництво

У даний час, в основному за кордоном, застосовується термін «чисте виробництво», який був введений в 1989 р. *Чисте виробництво* – це виробництво, яке характеризується безперервним і повним застосуванням до процесів і продуктів природоохоронної стратегії, яка запобігає забрудненню довкілля таким чином, щоб понизити ризик для людства і навколишнього середовища.

Сутність чистого виробництва – зменшення впливу на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу продукції:

від видобутку сировини до утилізації (або знешкодження) після використання, що досягається вилученням застосування токсичних сировинних матеріалів, зменшенням кількості і ступеня токсичності всіх викидів і відходів, що утворюються в процесі виробництва.

Екотехнологія

Крім перерахованих термінів, у науковій літературі згадується також поняття екотехнології. Ось кілька її визначень.

Екотехнологія – технологія, в якій вплив на природні процеси будується за тим ж принципом, за якими побудовані процеси в самій природі: замкнутість, поступовість, комплексність.

Екотехнологія – таке виробництво, яке не має шкідливого екологічного впливу на навколишнє середовище за прикладом природних екосистем, в яких відходи одних організмів служать середовищем існування для інших, тобто здійснюється замкнутий кругообіг.

Екотехнологія – взаємопов'язана сукупність прийомів і способів вилучення та використання природних ресурсів, сукупність способів обробки сировини, матеріалів, напівфабрикатів або виробів, способів утилізації відходів виробництва і (або) їх знешкодження перед відведенням в навколишнє середовище, способів освоєння і перетворення природних об'єктів.

Вторинна матеріальна сировина

Відповідно до напрямів безвідходності технологій відходи виробництва використовують як вторинні матеріальні ресурси, які після збору та обробки знову надходять у виробництво як *вторинна матеріальна сировина*. До останньої належать:

- залишки сировини і матеріалів, що утворюються в процесі виготовлення продукції;
- продукти фізико-хімічної переробки сировини;
- продукти, які отримують у результаті видобування й збагачення корисних копалин;
- вироби і предмети, що вийшли з ужитку або морально застаріли;
- продукти очищення газодимових викидів і стічних вод;

-відпрацьована та побічна теплота, енергетичний потенціал якої може бути використаний в інших процесах (використання вторинних енергетичних ресурсів – ВЕР).

За орієнтовними даними, щорічні обсяги промислових відходів у США становлять понад 1 млрд. т, у країнах Європейського співробітництва – близько 0,5 млрд. т, у Японії – близько, 300 млн т. Уже на сучасному етапі майже повністю переробляються металобрухт, склобій, макулатура та вироби з вовни, текстилю, частково – вироби з пластмас, гуми, шкіри тощо. Отже, рекуперація відходів – це основа раціонального використання сировини. Враховуючи виснаження резервів первинної сировини, дедалі більшого значення в усьому світі набуватиме проблема використання вторинної сировини. Виробництво паперу з макулатури, замість деревини, потребує енергії на 60 % менше, зменшує забруднення повітря на 15 % і води на 60 %. Сталь, виготовлена з металобрухту, на 70 % дешевша від добутої з руди. При цьому на кожній тонні сталі економиться 1,5 т руди і 0,2 т коксу, зменшується величезна кількість відходів, що потрапляють у відвали.

Рециклінг відходів

Важливим елементом екологізації виступає розробка технологій виділення та знешкодження відходів. У цьому аспекті важливим є розвиток способів рециклінгу відходів. *Рециклінгом відходів* називають їхнє повторне використання для отримання корисних продуктів. Процес рециклінгу зводиться до первинної сепарації в місцях утворення, сортування та інтегрованої переробки, отримання корисних продуктів або матеріалів.

На сучасному етапі розвитку техніки поки що незадовільно утилізуються відходи з пластмас. Останні природним шляхом розкладаються надзвичайно повільно або зовсім не розкладаються. Під час їх спалювання відбувається сильне забруднення атмосфери отруйними речовинами. Нині утилізується незначна частка з 80 млн т пластмас, які щороку виготовляються в світі. Так, британські фірми переробляють тільки 50 тис. т (10 %) усієї виробленої поліетиленової плівки, близько 25 тис. т (7 %) щорічного виробництва поліетилену. Понад 70 % цих матеріалів становлять пластмасові пляшки та автомобільні акумулятори. Після переробки вони трансформуються в початковий матеріал.

У США рециклінг пластмас упродовж п'яти найближчих років передбачається збільшити від 1 до 25 %, а в підсумку він становитиме 50–60 %. У Японії ще в 1988 р. за загального обсягу виробництва пластмас 11 млн т обсяг продукції з вторинної сировини становив 4,87 млн т. В Україні на сьогодні вироби з пластмас майже не утилізуються.

Оптимальним шляхом вирішення проблеми запобігання полімерним звалищам є створення екологічно чистих біодеградабельних пластмас. Перший крок на шляху отримання саморуйнівних пластмас змішуванням синтетичних матеріалів з полісахаридами або синтез біодеградабельних матеріалів, що руйнуються мікроорганізмами, вже зроблено. На наш погляд, більш раціональним шляхом вирішення цієї проблеми є застосування склотари, технологія утилізації якої добре розроблена й використовується в багатьох країнах.

Враховуючи обмеженість запасів кольорових та дорогоцінних металів в Україні, особливо важливою є організація збирання та переробки металобрухту й відходів кольорових і дорогоцінних металів (міді, цинку, свинцю, кадмію, нікелю, золота, срібла, платини та ін.). Потрібно розробити раціональні технології комплексної переробки відпрацьованих електролітів та промивних вод гальванічних виробництв. Варто при цьому взяти до уваги, що в подальшому господарюванні людського суспільства утилізація й переробка відходів набуватимуть дедалі більшого значення і обсягу. Отже, з метою раціонального вирішення проблеми утилізації відходів рекомендують таку програму заходів:

- зменшення кількості відходів;
- повторне використання, рециклізація, використання вторинної сировини;
- обробка, детоксикація та інші деструктивні методи;
- скидання і захоронення в наземних звалищах.

Регенерація відходів

Інший напрямок мінімізації відходів – *регенерація* – це питання сьогодення. Екологізація виробництва, в необхідності якої немає сумнівів, на сьогодні базується, головним чином, на цьому напрямку. Хоча з часом він буде витіснитись безвідходними технологіями, але поки що він є пріоритетним.

З позиції екологізації виробництва виводити відходи з виробничого циклу і викидати їх в природні комплекси не раціонально з двох причин: по-перше, при викиданні відходів, виводиться з процесу продукт, який містить деяку кількість цінних компонентів; по-друге, забруднення природних комплексів ускладнює екологічну обстановку в районі розміщення виробництва. Раціональним слід вважати регенерацію первинних відходів, тобто залишати їх в циклі виробництва з метою додаткового вилучення невикористаних елементів та сполук. Для цього первинні відходи необхідно регенерувати, тобто спрямувати на переробку.

Способів регенерації може бути багато, але принципівих напрямків регенерації промислових відходів є три.

Перший напрямок регенерації відходів полягає у поверненні відходів в той же виробничий процес, з якого вони одержані. Така регенерація можлива в тих випадках, коли за своїми властивостями відходи мало відрізняються від властивостей первинної сировини. Іноді відходи повертають у виробничий процес без попередньої підготовки, але в більшості випадків проводиться спеціальна підготовка відходів перед їх вторинним використанням.

Другий напрямок регенерації відходів – це використання їх в інших виробничих процесах, в яких з них вилучають корисні компоненти, які залишились після першого технологічного процесу. Для вилучення цих компонентів організовують спеціальні процеси підготовки відходів (або декілька процесів), вилучення компонентів, очистка та виготовлення готової продукції. В цих технологічних процесах також утворюються відходи (вторинні) і необхідно вирішувати питання їх регенерації та мінімізації.

Третій напрямок регенерації відходів – їх використання (після вилучення цінних компонентів або без нього) в якості сировини для інших виробництв з метою одержання продуктів довготривалого використання. При неможливості регенерації за вказаним напрямком відходи можуть бути використані як матеріал для виправлення результатів техногенної ерозії ґрунтів і ландшафтів.

Регенерація рідких відходів (стічних вод) полягає в їх очистці від забруднення (в тому числі і теплового) з наступним поверненням у виробництво, тобто організація водооборотного процесу. Можлива і повна їх очистка з поверненням у природні водойми, за умови їх повної екологічної безпеки.

Газоподібні відходи повинні повністю очищатись, а вловлені продукти утилізуватись за одним з розглянутих напрямків. Теплові відходи необхідно утилізувати, використовуючи їх як вторинні енергетичні ресурси.

Регенерація відходів дозволить вирішити проблему мінімізації промислових відходів, а в окремих випадках – досягти повної їх ліквідації, що, в свою чергу, дозволить створити маловідходні та безвідходні виробництва, і попередити забруднення навколишнього природного середовища.

Запитання

1. Розкрити сутність поняття безвідходного виробництва?
2. Показати зміст умовності поняття безвідходного виробництва на прикладі синтезу аміаку?
3. Розкрити сутність поняття маловідходні технології?
4. Дати визначення «чистого виробництва»?
5. Розкрити сутність поняття екотехнологія?
6. Що означає вторинна матеріальна сировина?
7. Пояснити та навести приклади рециклінгу відходів?
8. Розкрити сутність поняття регенерація відходів?

Лекція 3

Проблеми створення маловідходних та безвідходних виробництв

План

1. Екологічний аспект
2. Ресурсний аспект
3. Технологічні й технічні аспекти
4. Економічний та організаційний аспекти
5. Правовий вплив на впровадження мало- та безвідходних технологій

Екологічний аспект

Концепція сучасного виробництва базується на маловідходних (в ідеалі безвідходних) технологіях, що забезпечують ефективне використання матеріальних і енергетичних ресурсів при відповідності державним стандартам ГДВ (гранично-допустимих викидів) і ГДС (гранично-допустимих скидів) шкідливих речовин у навколишнє

середовище (або при повній їх відсутності). У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність розробки і здійснення комплексу заходів щодо впровадження маловідходних (МВВ) і безвідходних виробництв (БВВ).

Таким чином, найбільш раціональні шляхи зменшення промислових відходів і забруднення навколишнього середовища наступні:

Перший з них є, по суті, пристосуванням до нових вимог з охорони навколишнього середовища, яке передбачає установку спеціального обладнання для очистки відходів всіх видів.

Другий шлях передбачає зміну самих технологічних процесів так, щоб комплексно і повніше переробляти вихідні матеріали в цільові продукти і тим самим скорочувати обсяги відходів, зробити їх менш шкідливими для навколишнього середовища або перевести в форми, що легко піддаються вторинній переробці або спеціальному зберіганню.

Другий шлях неможливий без створення безвідходних виробництв, в яких здійснюються замкнуті матеріальні та енергетичні потоки, які не стикаються з навколишнім середовищем.

Загалом проблема створення безвідходних виробництв має наступні аспекти:

1) *екологічний* у вузькому сенсі цього слова, тобто пов'язаний з біологічним співвідношенням людського суспільства з природою при глобальному забрудненні навколишнього середовища;

2) *ресурсний* аспект, пов'язаний із загрозою виснаження природних ресурсів;

3) *технологічний* і *технічний*, що передбачають при переробці багатокomпонентної сировини комбінації процесів, які забезпечують найбільш комплексне (за кількістю вилучених компонентів) і повне (за ступенем вилучення та використання компонентів) використання природного ресурсу;

4) *економічний* та *організаційний*;

5) *правовий*.

Розглянемо ці аспекти в перерахованій послідовності.

Екологічний аспект починається з природи, оскільки вона є першоджерелом задоволення матеріальних і духовних потреб людей. Одночасно вона є і середовищем існування людини і всіх живих організмів, життєдіяльність яких супроводжується постійним споживанням повітря, води і їжі. Від наявності та якості останніх

залежить протікання природних фізіологічних процесів обміну речовин в будь-якому живому організмі.

Усвідомлення суспільством необхідності запобігання руйнуванню природного середовища призвело до виникнення в середині ХХ століття нової форми взаємодії суспільства і природи у вигляді охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Охорона природи (або охорона довкілля) базується на об'єктивній необхідності гармонійних взаємовідносин суспільства і середовища його існування – природи і впливає з невідворотності шкідливих наслідків екологічно необгрунтованої господарської діяльності.

Необхідність охорони навколишнього середовища призводить до істотних змін у загальних підходах до забезпечення екологічної ефективності виробництва. Під *екологічною ефективністю* розуміють мінімізацію впливу на навколишнє середовище при заданих продуктивності і якості продукції, що випускається відповідним виробництвом. Замість заходів тимчасового характеру, спрямованих на боротьбу з наслідками забруднень, тепер все частіше і частіше на стадії проектування і будівництва підприємств застосовують заходи довготривалого характеру, в основі яких закладений принцип: не боротьба з наслідками забруднень, а ліквідація причин цього несприятливого явища. У зв'язку з цим необхідно змінювати і удосконалювати самі технологічні процеси, так, щоб комплексно і найбільш повно переробляти в процесі виробництва вихідні матеріали, скорочувати тим самим обсяг відходів, переводити їх у форми, які найменш шкідливі для навколишнього середовища або легко піддаються вторинній переробці, – іншими словами, необхідно створювати маловідходні та безвідходні технології.

Вимога збереження довкілля відображає новий етап осмислення відносин між людиною і природою. Ще зовсім недавно це відображалось в образах людини – невтомного працівника в майстерні природи, людини – підкорювача природи. Сьогодні ці образи істотно трансформуються: ми підкреслюємо, що людина повинна стати громадянином, який усвідомлює свою відповідальність за природу.

Ресурсний аспект

Матеріальне виробництво базується на використанні природних ресурсів:

- 1) невідновні (багатства надр землі, нафта, газ та ін.);
- 2) відновні (повітря, вода, ґрунт, рослинний і тваринний світ та ін.).

Наприклад, вартість мінеральної сировини становить приблизно 70 % вартості всіх природних ресурсів, що не використовуються суспільством. У міру збільшення обсягів видобутку відбувається виснаження запасів мінеральних ресурсів, погіршується їх якість, підвищується собівартість мінеральної сировини. У цих умовах вилучення з надр попутних корисних компонентів, утилізація відходів і зниження втрат при видобутку і переробці дозволяють збільшити сировинний потенціал. Обмеженість доступних мінеральних ресурсів висуває проблему їх раціонального видобутку та використання. Так, балансовий розрахунок сучасного стану накопичення та утилізації відходів гірських галузей промисловості показав, що існуючий рівень виробництва може бути забезпечений при зниженні обсягу видобутку гірської маси на 20–25 % головним чином за рахунок виробництва 80 % будматеріалів із відходів (зниження загальної вартості продукції на 10–45 %).

Технологічні й технічні аспекти

Багатокомпонентний склад сировини практично будь-якого родовища при переробці вимагає використання такої комбінації процесів, яка забезпечує найбільш комплексну (за кількістю вилучених компонентів) і повну (за ступенем вилучення та використання компонентів) переробку руди. Слід зауважити, що до недавнього часу з 33 елементів, які містяться в апатиті, використовували тільки один фосфор, а всі інші переміщали у відвали.

Комплексне використання мінеральних ресурсів полягає в переході на безвідходні технологічні процеси. Утворені в одному виробництві відходи служать сировиною для іншого виробництва. У цьому випадку скорочується потреба в сировині і зникають (або значно скорочуються) забруднюючі навколишнє середовище відходи.

Дослідження в галузі створення безвідходних технологій, методів утилізації відходів, комплексного використання сировини, економічної оцінки схем, оптимізації режимів переробки корисних копалин показує, що в даний час на більшості підприємств є можливість довести певну частину утворених відходів до товарної продукції або вторинної сировини для інших галузей промисловості. Безвідходне виробництво повинне передбачати більш раціональне використання не тільки сировини, але й інших допоміжних матеріалів, у першу чергу газу і води.

До комплексу *технічних проблем* які виникають при розробці МВВ і БВВ належать:

- розробка принципово нових мало- та безвідходних технологічних процесів;

- вдосконалення існуючих технологічних процесів (обидва ці напрямки мають на меті одержання продуктів високої якості, скорочення стадій процесів, використання малотоксичної вихідної сировини);

- регенерація вихідних сполук (мономерів, розчинників та ін.);
- утилізація відходів;
- очистка стоків і водооборотних систем та ін. (для здійснення МВВ і БВВ повинна використовуватися така техніка контактування фаз, яка забезпечує оптимальні умови їх здійснення);

- необхідна температурна послідовність упродовж робочої зони;
- інтенсивний тепло- і масообмін;
- максимально можлива селективність;
- мінімальні втрати енергії;
- впровадження безперервних процесів та ін.

Для створення БВВ потрібно розробляти принципово нові апарати (наприклад, які дозволяють поєднувати в одному апараті декілька технологічних процесів), оптимізувати розміри реакторів і їх продуктивність, використовувати нові конструкційні матеріали та ін.

Економічний та організаційний аспекти

Практика показує, що поступовий перехід промисловості на БВВ вимагає послідовного здійснення низки заходів організаційного та економічного характеру. Наприклад, традиційно сформована система техніки і технології видобутку і збагачення корисних копалин не відповідає ідеї безвідходних технологій. Сучасна методологія оцінки

технології, прийняття проектних і планових рішень з розвитку комплексності переробки корисних та інших копалин базується в основному на економічному розрахунку. У ній не завжди враховуються чинники довготривалого і перспективного характеру: витрата корисних копалин як природного ресурсу, екологічні наслідки такої технології, стратегічне використання деяких компонентів, можливість місцевої утилізації відходів тощо. Становище ускладнюється і тим, що деякі з цих параметрів не мають кількісного вираження, а облік факторів на інтуїтивному рівні здійснюється суб'єктивно і недостатньо повно. Найбільш важливою обставиною є те, що проблема комплексної і безвідходної технології має міжгалузевий характер.

Внаслідок відносної новизни проблеми БВВ ще відсутні не лише організаційні форми, що дозволяють вирішувати цю проблему, а й необхідна повна інформація про кількість, якість і технологічні властивості як накопичених відходів, так і тих які утворюються щорічно. У порівнянні із звичайними виробництвами БВВ за своїми параметрами може розглядатися як більш прогресивний, який передбачає комплексне використання сировини, і більш прийнятний за своїми екологічними наслідками. У цьому випадку економічні оцінки виробництв, які зазвичай розглядаються, не враховують усіх переваг БВВ, що вимагає більшої трудомісткості на одиницю перероблюваної сировини, більш розвиненої схеми і більшої різноманітності процесів. Крім того, безвідходна технологія більш складна в управлінні та організації в результаті виробництва багатогалузевої продукції. У зв'язку з цим організація такої технології вимагає великих капітальних вкладень і поточних витрат, що, незважаючи на можливість отримання більшої кількості продукції, прибутку, кращого використання сировини, викликає певні труднощі.

Правовий вплив на впровадження мало- та безвідходних технологій

Застосування маловідходних технологій передбачено Стокгольмською конвенцією «Про стійкі органічні забруднювачі» ратифікованою 18 квітня 2007 року. У якій говориться, що пріоритетна увага повинна приділятися розгляду підходів стосовно запобігання утворенню й викидам хімічних речовин, і як ефективні заходи визначаються маловідходні технології.

Статтею 22 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» передбачено надання підприємствам, установам, організаціям та громадянам – суб'єктам підприємницької діяльності податкових, кредитних та інших пільг у разі впровадження ними маловідходних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій, застосування заходів щодо регулювання діяльності, що впливає на клімат. Цю ж саму умову повторює Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», зокрема ст. 41 та ст. 48. Надання податкових, кредитних пільг у разі впровадження маловідходних, безвідходних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій, здійснення відповідно до законодавства інших заходів, що зменшують негативний вплив на води передбачено також Водним Кодексом України, зокрема ст. 29.

Також правовий вплив на впровадження маловідходних технологій, енергозберігаючої техніки та виробництво безпечної продукції має Закон України «Про відходи» який визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної із запобіганням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, обробкою, утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням, а також із запобіганням негативного впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини на території України.

Закон України «Про Загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами» передбачає розв'язання таких основних завдань як обмеження утворення токсичних відходів шляхом реструктуризації виробництва (там, де це можливо), регенерації, впровадження маловідходних технологій та процесів замкнутого циклу.

Про екологізацію виробництва шляхом впровадження новітніх наукових досягнень, енергоефективних ресурсозберігаючих технологій, маловідходних, безвідходних та екологічно безпечних технологічних процесів говориться і у Розпорядженні КМУ від 3 вересня 2009 р. «Стратегічні напрями та завдання щодо залучення міжнародної технічної допомоги і співробітництва з міжнародними фінансовими організаціями на 2009–2012 роки».

Запитання

1. Розкрити сутність екологічного аспекту проблеми створення безвідходних виробництв?

2. Розкрити сутність ресурсного аспекту проблеми створення безвідходних виробництв?

3. Розкрити сутність технологічних і технічних аспектів проблеми створення безвідходних виробництв?

4. Розкрити сутність економічних та організаційних аспектів проблеми створення безвідходних виробництв?

5. Охарактеризувати вплив правових аспектів на впровадження мало- та безвідходних технологій?

Лекція 4

Критерії безвідходності виробництва

План

1. Критерій ступеня безвідходності

2. Ступінь використання у технологічних процесах сировини і матеріалів

Критерій ступеня безвідходності

Кількісна оцінка ступеня екологічної досконалості технологічного процесу – складне завдання. Можливі різні варіанти цієї оцінки. Наприклад, оцінка за обсягом очікуваного забруднення, а також за розміром збитку.

В основу критеріїв, що обмежують шкідливий вплив виробництва на довкілля, покладені діючі санітарно-гігієнічні нормативи – гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин. На їх основі, за існуючими методиками, розраховуються показники впливу виробництва на навколишнє середовище, до яких в першу чергу належать нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) в атмосферу і гранично допустимі скиди (ГДС) у водойми.

Відповідно до поглядів академіка Ласкоріна, в сучасних умовах різні технологічні системи слід оцінювати за кількістю відходів, що утворюються на одиницю продукції. Велика кількість стічних вод, термальних скидів, газових викидів і твердих відходів є найбільш об'єктивним показником недосконалості використовуваних або проєктованих технологічних схем. Таким чином, *критерієм ступеня безвідходності* ($K_{БВ}$) або екологічної чистоти технологічного процесу є кількість відходів ($Q_{В}$), що утворюються при отриманні одиниці готової продукції ($Q_{ГП}$):

$$K_{\text{БВ}} = k_{\text{T}} \cdot Q_{\text{В}} / Q_{\text{ГП}}$$

Точний розрахунок такого критерію вимагає введення поправки на токсичність відходів (k_{T}), оскільки, неможливо тільки за масою зіставляти ці значення, бо відходи багатьох виробництв містять токсичні речовини, наприклад, відходи содового виробництва – відпрацьовані розчини гальванічних цехів, містять ціаністи сполуки.

У розвиток цих ідей було запропоновано ввести *критерій безвідходності* виробництва як міру оцінки його екологічної безпеки у вигляді співвідношення: кількість рециркулюючих відходів ($Q_{\text{РВ}}$) до загальної їх кількості ($Q_{\text{ЗВ}}$) з підсумовуванням цих показників для груп однотипних підприємств:

$$K_{\text{БВ}} = k_{\text{T}} \cdot Q_{\text{РВ}} / Q_{\text{ЗВ}}$$

Для попередньої оцінки і порівняння технологічних схем виробництва одного виду товарної продукції такий критерій цілком може бути використаний при виборі варіанта проектування.

В. Релізом і А. Шубіним запропоновано *критерій екологічності* ($K_{\text{ЕК}}$), що розраховується за формулою:

$$K_{\text{ЕК}} = \sum m_i^{\text{Р}} \cdot \frac{C_i^{\text{Р}}}{\text{ГДК}_i^{\text{Р}}} + \sum m_i^{\text{Г}} \cdot \frac{C_i^{\text{Г}}}{\text{ГДК}_i^{\text{Г}}} + \sum m_i^{\text{Т}} \cdot \frac{C_i^{\text{Т}}}{\text{ГДК}_i^{\text{Т}}}$$

де $m_i^{\text{Р}}$, $m_i^{\text{Г}}$, $m_i^{\text{Т}}$ – кількість і-го токсичного компонента рідких, газоподібних і твердих відходів відповідно, т/т продукту;

$C_i^{\text{Р}}$, $C_i^{\text{Г}}$, $C_i^{\text{Т}}$ – концентрація і-го компонента в рідких, газоподібних і твердих відходах, мг/м³;

$\text{ГДК}_i^{\text{Р}}$ – гранично допустима концентрація і-го компонента у воді рибогосподарських водойм, мг/дм³;

$\text{ГДК}_i^{\text{Г}}$ – гранично допустима концентрація і-го компонента в повітрі населених місць, мг/м³.

Для оцінки токсичності твердих відходів передбачається використання $\text{ГДК}_i^{\text{Р}}$, оскільки при зберіганні твердих відходів можливе їх розчинення в атмосферних опадах, стічних і ґрунтових водах.

Як видно з наведеної формули (5), критерій екологічності складається з трьох частин – параметрів обліку відповідно рідких, газоподібних, твердих відходів (*A*, *B*, *C*).

Приклад

Критерій $K_{ЕК}$ був використаний для аналізу екологічної досконалості чотирьох виробництв борної кислоти.

H_3BO_3 – борна кислота;

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ – бура;

1-й метод: $B + 3HNO_3 \rightarrow H_3BO_3 + 3NO_2$;

2-й метод: $B_2O_3 + 3H_2O \rightarrow H_3BO_3$;

3-й метод: $Na_2B_4O_7 + H_2SO_4 + 5H_2O \rightarrow 4H_3BO_3 + Na_2SO_4$;

4-й метод: $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O + 2HCl \rightarrow 4H_3BO_3 + 2NaCl + 5H_2O$.

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків критерію $K_{ЕК}$

Метод виробництва	$K_{ЕК}$	Параметри		
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
1-й метод	$1,57 \cdot 10^3$	$0,92 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$
2-й метод	$0,79 \cdot 10^3$	$0,19 \cdot 10^3$	2,2	$6 \cdot 10^2$
3-й метод	$0,12 \cdot 10^3$	0,054	$0,12 \cdot 10^3$	0
4-й метод	0,84	0,54	0,3	0

Всі чотири виробництва в своїй основі мають однакові технологічні схеми. Відмінності між ними полягають у наступному: методи 2 і 4 включають етап доосадження борату кальцію, що зменшує кількість рідких відходів (у виробництві 4 ефект зводиться нанівець в порівнянні з виробництвом 3 за рахунок утворення стоків при попутній очистці); у виробництвах 3 і 4 борогіпс утилізується, а це виключає утворення твердих відходів.

Оскільки для ідеальної (безвідходної) технології критерій $K_{ЕК}$ має дорівнювати нулю, то, як видно з даних табл. 1, найбільш екологічно прийнятний метод 4, а «найбруднішим» з наведених є метод 1.

Ступінь використання у технологічних процесах сировини і матеріалів

Другою за значущістю кількісною оцінкою безвідходності виробництва є ступінь використання у технологічних процесах сировини і матеріалів. Цей показник не є універсальним і для різних галузей промисловості має свій вираз.

Так, у кольоровій металургії широко використовується *коефіцієнт комплексності* – частка компонентів (%), що вилучаються із сировини, що переробляється, по відношенню до всієї її кількості.

У вугільній промисловості введений *коефіцієнт безвідходності виробництва* (%):

$$K_{\text{БВ}} = 0,33 (K_{\text{П}} + K_{\text{В}} - K_{\text{Г}}),$$

де $K_{\text{П}}$ – коефіцієнт використання породи (%), що утворюється в результаті гірничих робіт; $K_{\text{В}}$ – коефіцієнт використання води, що попутно забирається (%); $K_{\text{Г}}$ – коефіцієнт використання пило-газових відходів (%). У разі використання поряд з ново утвореною породою також відвалів минулих років коефіцієнт безвідходності може бути більше 100%.

У *хімічній промисловості* також введений коефіцієнт безвідходності ($K_{\text{БВ}}$), розроблена і введена в дію спеціальна методика його визначення та віднесення відповідних технологічних процесів до категорії безвідходних, маловідходних та рядових. *Коефіцієнт безвідходності* характеризує повноту використання у виробництві матеріальних і енергетичних ресурсів, а також інтенсивність впливу цього виробництва на навколишнє середовище:

$$K_{\text{БВ}} = f \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{Е}} \cdot K_{\text{А}}$$

$K_{\text{БВ}}$ – коефіцієнт безвідходності, безрозмірна величина ($0 \leq K_{\text{БВ}} \leq 1$)

f – коефіцієнт пропорційності, який визначається емпірично;

$K_{\text{М}}$ – коефіцієнт використання матеріальних ресурсів;

$K_{\text{Е}}$ – коефіцієнт використання енергетичних ресурсів;

$K_{\text{А}}$ – коефіцієнт відповідності екологічним вимогам.

До маловідходних належать виробництва, що характеризуються показником $K_{\text{М}}$, що дорівнює не менше 0,8–0,9 (залежно від потужності), а до безвідходних – не менше 0,9–0,98 (також залежно

від потужності). Попадання у довкілля газових викидів, стічних вод і твердих відходів у всіх випадках повинно відповідати санітарно-гігієнічним нормам. Ймовірно, в першому наближенні для практичної мети значення коефіцієнта безвідходності (або коефіцієнта комплексності), рівне 0,75–0,9, можна прийняти в якості кількісного критерію маловідходності, а 0,9–0,98 – безвідходного виробництва і в інших матеріаломістких галузях промисловості.

Запитання

1. Охарактеризуйте критерій ступеня безвідходності за Б. Ласкоріним?
2. Охарактеризуйте критерій екологічності за В. Релізом і А. Шубіним?
3. Розкрийте сутність ступеня використання у технологічних процесах сировини і матеріалів?

ТЕМА 2

ОСНОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРИ РОЗРОБЦІ МАЛОВІДХОДНИХ І БЕЗВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Лекція 5

Термодинамічні розрахунки хіміко-технологічних процесів

План

1. Термодинамічні системи, параметри, функції і потенціали
2. Закони термодинаміки
3. Поняття рівноваги термодинамічного процесу
4. Загальні умови стійкої рівноваги термодинамічного процесу (не лише для хіміко-технологічних систем!)
5. Умови перебігу рівноважних хімічних реакцій. Вплив енергетичного і ентропійного факторів
6. Закон діючих мас

Термодинамічні системи, параметри, функції і потенціали

При проектуванні технологічних процесів дуже важливими є термодинамічні розрахунки хімічних реакцій. Вони дозволяють:

а) зробити висновок про принципову можливість даного хімічного перетворення;

б) попередньо вибрати умови проведення процесу;

в) визначити рівноважний склад продуктів;

г) розрахувати теоретично досяжні ступені перетворення вихідних речовин і вихід продуктів, а також енергетичні ефекти (теплота реакції, теплота зміни агрегатного стану та ін.), що необхідно для складання енергетичних балансів і визначення енергетичних затрат.

У найширшому сенсі *термодинаміка* – це наука про перетворення енергії. Факт взаємного перетворення різних форм руху матерії при збереженні кількості цього руху є змістом закону збереження і перетворення енергії, названого Ф. Енгельсом абсолютним законом природи.

Хімічна термодинаміка – розділ фізичної хімії, присвячений вивченню макроскопічних хімічних систем (газоподібні, рідкі та тверді речовини, розчини та ін.) і процесів (реакції, фазові перетворення та ін.) на основі загальних законів взаємоперетворення теплоти, різних видів роботи і енергії. У хім. термодинаміці розглядаються типи *термодинамічних систем*: а) в залежності від фазового стану – гетерогенна, гомогенна; б) в залежності від можливості обміну з зовнішнім середовищем речовиною і енергією – закрита, відкрита, ізольована системи.

Найбільш важливі поняття термодинаміки – «теплота процесу» і «робота». Перетворення теплоти в роботу або роботи в теплоту здійснюється звичайно в термодинамічному процесі безпосередньо робочим тілом. Термодинамічна система називається однорідною, якщо в усіх частинах системи властивості однакові. Сукупність фізичних властивостей робочого тіла (або термодинамічної системи) в розглянутих умовах називається станом тіла (або системи). Стан термодинамічної системи характеризується термодинамічними *параметрами* (температура, тиск, питомий об'єм, густина, молярний об'єм, хімічний потенціал, ентропія) і термодинамічними *потенціалами*, тобто функціями термодинамічних параметрів (внутрішня енергія, ентальпія, енергія Гіббса, енергія Гельмгольца).

Закони термодинаміки

В основі хімічної термодинаміки лежать закони (начала) загальної термодинаміки. *Перший закон* – є застосування до теплових явищ закону збереження і перетворення енергії, згідно з яким робота може здійснюватися лише за рахунок теплоти або якоїсь іншої форми енергії. Він є основою термохімії, вивчення теплоємності речовин, теплових ефектів реакцій і фізико-хімічних процесів (Закон Гесса, теплове рівняння Кіргофа).

Другий закон – визначає напрям процесів, що відбуваються в природі. Існує кілька формулювань цього закону.

1. Теплота не може самовільно переходити від тіла з нижчою температурою до тіла з вищою температурою (Клаузиус).

2. У природі неможливий процес, повний ефект якого полягав би у охолодженні теплового резервуара і в еквівалентній механічній роботі (В. Томсон і М. Планк).

3. Природа прагне від станів менш імовірних, до станів, більш імовірних (Больцман).

Цей закон лежить в основі найважливішого розділу хімічної термодинаміки – вченні про хімічну і фазову рівновагу.

Поняття рівноваги термодинамічного процесу

Залежно від умов ізоляції системи принцип рівноваги формулюється через різні термодинамічні функції. В ізольованих системах процеси характеризуються змінами ентропії ΔS ; самовільне протікання процесу можливе тільки в напрямку збільшення ентропії, тобто $\Delta S > 0$ (для необоротних процесів). В оборотних процесах $\Delta S = 0$. Для незамкнених систем ентропія може, звичайно, і зменшуватися.

Зміна стану термодинамічної системи (значень термодинамічних параметрів) під впливом подачі або відводу енергії у формі теплоти або роботи називається *термодинамічним процесом*. Процеси, що являють собою безперервний ряд рівноважних станів, називають *рівноважними*. При цьому рівноважним вважають стан, якого досягають системи при постійних зовнішніх умовах, і який характеризується незмінністю у часі термодинамічних параметрів і відсутністю в системі потоків речовини і теплоти.

Загальні умови стійкої рівноваги термодинамічного процесу (не тільки для хіміко-технологічних систем!)

Стійка рівновага характеризується такими загальними умовами;

1) незмінністю рівноважного стану системи в часі при постійних зовнішніх умовах;

2) рухливістю рівноваги (самовільним відновленням стану рівноваги після припинення зовнішньої дії, що викликала відхилення системи від стану рівноваги);

3) динамічним характером рівноваги, тобто встановленням і збереженням рівноваги внаслідок рівності швидкостей прямого і зворотного процесів;

4) можливістю підходу до стану рівноваги з двох протилежних сторін;

5) мінімальним значенням енергії Гіббса G в ізобарно-ізотермічних та енергії Гельмгольца F в ізохорно-ізотермічних процесах ($dG = 0$, $d^2G > 0$, $dF = 0$, $d^2F = 0$).

Із цих загальних умов виводяться конкретні умови для хімічної рівноваги.

Умови перебігу рівноважних хімічних реакцій. Вплив енергетичного і ентропійного факторів

Хімічні реакції, як правило, оборотні: поряд з хімічною взаємодією між вихідними речовинами (пряма реакція) протікає взаємодія і між продуктами (зворотна реакція). За мірою перебігу процесу швидкість прямої реакції зменшується, а швидкість зворотної реакції збільшується; в певний момент часу швидкості прямої та зворотної реакцій стають рівними – настає стан хімічної рівноваги. Хімічна рівновага характеризується незмінністю кількості молекул речовин, які складають хімічну систему, при незмінних зовнішніх умовах.

Умовою рівноваги при постійних T і P (ізобарно-ізотермічні процеси) є мінімум енергії Гіббса ($\Delta G = 0$).

Якісно передбачити стан рівноваги дозволяють порядок і знак величини ΔG^0 (стандартної енергії Гіббса).

Якщо $\Delta G^0 \ll 0$, рівновага зміщується вправо, вихід продукту великий, а константа рівноваги має велике числове значення.

Якщо $\Delta G^0 \gg 0$, рівновага зміщується вліво, вихід продукту малий, $K_p \ll 1$

В умовах рівноваги при будь якій температурі $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 = 0$ або $\Delta H^0 = T\Delta S^0$, тобто вплив енергетичного та ентропійного чинників однаковий.

Вирішуючи спільно рівняння:

$$\text{ізотерми Вант-Гоффа} \quad \Delta G^0 = -RT \ln K_p$$

$$\text{і зміни енергії Гіббса} \quad \Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$$

щодо K_p , одержимо:

$$\ln K_p = -\Delta G^0 / RT,$$

$$K_p = e^{-\Delta G^0 / RT} = e^{-\Delta H^0 / RT} \cdot e^{\Delta S^0 / R}$$

Із аналізу цього виразу очевидно, що для:

1) Екзотермічних реакцій, які протікають із зростанням ентропії

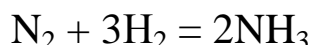
$$(\Delta H^0 < 0, \Delta S^0 > 0), K_p > 1; \text{ а } \Delta G^0 < 0,$$

тобто для протікання реакції зліва направо сприятливі великі негативні значення ΔH^0 (тобто значний тепловий ефект) і великі позитивні значення ΔS^0 (зростання ентропії).

2) ендотермічних реакцій при зниженні ентропії ($\Delta H^0 > 0, \Delta S^0 < 0$) – мимовільне протікання процесу неможливе.

3) якщо ΔH^0 і ΔS^0 мають однаковий знак, термодинамічна імовірність протікання процесу визначається конкретними значеннями $\Delta H^0, \Delta S^0$ і T .

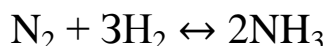
Розглянемо на прикладі реакції синтезу аміаку загальний вплив ΔH^0 і ΔS^0 на можливість здійснення процесу:



Для даної реакції:

$\Delta H^0 < 0$ ($-92,2$ кДж/моль), $\Delta S^0 < 0$ ($-198,0$ Дж/моль·К), тобто зміна ентропії від'ємна і не сприяє протіканню реакції. Але в той же час процес характеризується великим від'ємним ентальпійним ефектом

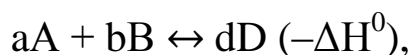
(реакція екзотермічна), завдяки чому і можливе здійснення процесу, проте не до кінця, тобто реакція є оборотною (рівноважною)



На практиці дану реакцію проводять при високих тиску і температурі в присутності каталізатора, і при цьому вихід продукту невеликий.

Закон діючих мас

Кількісно стан рівноваги описується законом діючих мас (ЗДМ) і виражається константою рівноваги. Розглянемо реакцію



де a, b, d – стехіометричні коефіцієнти,

ΔH^0 – зміна ентальпії або тепловий ефект реакції.

Як відомо з курсу загальної хімії, швидкість прямої реакції пропорційна добутку концентрації реагентів, тобто

$$\vec{V} = k_1 [\text{A}]^a \cdot [\text{B}]^b,$$

де $[\text{A}]^a$ і $[\text{B}]^b$ – молярні концентрації вихідних речовин,

k_1 – константа швидкості прямої реакції.

Швидкість зворотної реакції пропорційна концентрації продукту:

$$\overleftarrow{V} = k_2 [\text{D}]^d,$$

де $[\text{D}]^d$ – молярна концентрація продукту реакції,

k_2 – константа швидкості зворотної реакції.

У момент рівноваги $\vec{V} = \overleftarrow{V}$ або $k_1 [\text{A}]^a \cdot [\text{B}]^b = k_2 [\text{D}]^d$.

Константу рівноваги даної хімічної реакції обчислюють за формулою:

$$K_p = k_1 / k_2,$$

Якщо за діючу масу прийняти рівноважні концентрації, то така константа рівноваги називається концентраційною:

$$K_{PK} = (C_D^*)^d / (C_A^*)^a (C_B^*)^b,$$

Для газів використовується парціальний тиск:

$$K_{PK} = (P_D^*)^d / (P_A^*)^a (P_B^*)^b,$$

ЗДМ в його класичній формі застосуємо тільки до неелектролітів та слабких електролітів у розведених водних розчинах. У разі застосування ЗДМ до сильних електролітів замість рівноважних концентрацій речовин підставляють їх активності, тобто добуток величини концентрації на коефіцієнт активності $a_A = C_A f_A$. У цьому випадку константа рівноваги називається термодинамічною. Для реальних систем:

$$K_{PT} = (a_D^*)^d / (a_A^*)^a (a_B^*)^b.$$

Запитання

1. Розкрити сутність понять термодинаміка, термодинамічні системи, параметри, функції і потенціали?
2. Висвітлити основні закони термодинаміки?
3. Поняття рівноваги термодинамічного процесу?
4. Охарактеризувати загальні умови стійкої рівноваги термодинамічного процесу (не тільки для хіміко-технологічних систем)?
5. Розкрити умови перебігу рівноважних хімічних реакцій?
6. Пояснити вплив на хімічні реакції енергетичного і ентропійного факторів?
7. Пояснити сутність закону діючих мас, навести приклади його застосування?

Лекція 6

Використання законів хімічної кінетики при виборі технологічного режиму

План

1. Предмет хімічної кінетики
2. Різниця між мікро- і макрокінетикою
3. Основні принципи хімічної кінетики
4. Особливості кінетики гомогенних і гетерогенних процесів
5. Способи збільшення поверхні контакту фаз у різних гетерогенних системах

Предмет хімічної кінетики

Хімічна термодинаміка дозволяє вирішити питання щодо напрямку протікання хімічних реакцій і оцінити гранично досяжні (рівноважні) стани реакційної системи. Проте вона не може відповісти на запитання, які мають надзвичайно важливе практичне значення в хімічній технології: як швидко відбудеться хімічне перетворення, за який проміжок часу буде отримана та або інша кількість продукту реакції.

Тому вирішальне значення при виборі умов проведення хіміко-технологічних процесів мають показники швидкості хімічних перетворень, що вивчаються хімічною кінетикою. Від швидкості технологічного процесу залежать продуктивність апаратів і їх кількість в технологічній схемі.

Швидкість хімічної реакції прийнято виражати кількістю одного з реагентів чи продуктів, що прореагували (або утворилися) за одиницю часу в одиниці реакційного простору.

Функціональна залежність швидкості хімічної реакції від концентрацій компонентів реакційної суміші називається *кінетичним рівнянням*.

Експериментально швидкість хімічної реакції визначають, вивчаючи зміну в часі кількості (або концентрації) певного реагента або продукту.

Різниця між мікро- і макрокінетикою

Швидкість хімічного перетворення залежить від великої кількості змінних. Результати експериментальних досліджень різних реакцій показали, що на швидкість впливають як чинники, що визначають стан хімічної рівноваги (температура, тиск, склад реакційної системи), так і інші причини, такі, як наявність або відсутність сторонніх речовин, що не зазнають змін в результаті реакцій (розчинник, домішки), умови фізичного транспортування реагентів до реакційних центрів та ін.

Фактори, що впливають на швидкість хімічного перетворення, зазвичай поділяють на дві групи: *чисто кінетичні (мікрокінетичні)*, що визначають швидкість взаємодії на молекулярному рівні, і *макрокінетичні*, що визначають вплив на швидкість реакції умов транспорту реагентів до зони реакції, наявності або відсутності перемішування, геометричних розмірів реактора.

Основні принципи хімічної кінетики

Закони хімічної кінетики засновані на двох принципах (постулатах), вперше встановлених при вивченні реакцій в розчинах:

1. швидкість хімічної реакції пропорційна концентраціям реагентів;

2. сумарна швидкість декількох послідовних перетворень, які значно відрізняються за швидкістю, визначається (лімітується) найбільш повільною стадією.

Перший принцип виражає закон діючих мас, із якого випливає, що для збільшення швидкості процесу $aA + bB \rightarrow dD$, необхідно збільшувати концентрації реагуючих речовин:

$$U = k_1 [A]^a \cdot [B]^b$$

Для цього в промисловості необхідно застосовувати концентровану сировину (з цією метою проводять її збагачення).

Крім того відомо, що для збільшення константи швидкості процесу необхідно: а) підвищувати температуру і б) застосовувати каталізатори.

а) Залежність константи швидкості реакції від температури визначається рівнянням Арреніуса:

$$k = k_0 e^{-E / RT}$$

де k – константа швидкості реакції,
 k_0 – перед експоненціальний множник,
 E – енергія активації реакції,
 R – універсальна газова стала,
 T – температура.

Підвищення температури сильно збільшує константу швидкості реакції, проте гранична температура підвищення визначається величиною, при якій швидкість побічної реакції починає набувати істотного значення, а для оборотних процесів – умовами оборотності. Збільшення температури також може обмежуватися термостійкістю реагентів і конструкційних матеріалів, з яких виготовлені реактори, і верхніми межами активності каталізаторів.

б) *Використання каталізаторів* прискорює хімічні реакції і замінює одностадійний процес, що вимагає великої енергії активації, багатостадійним, кожна стадія якого має менші значення енергій активації.

Активність каталізаторів визначається співвідношенням констант швидкостей каталітичної і некаталітичної реакцій.

Початковий і кінцевий енергетичний стан реакційної системи в присутності каталізатора і без нього залишаються однаковими; отже, каталізатор не може змінити стану хімічної рівноваги, яка не залежить від шляху реакції.

Роль каталізатора полягає лише в зміні швидкості досягнення стану рівноваги. Каталізатор може збільшувати швидкість тільки тих процесів, які дозволені термодинамічно.

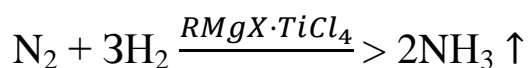
Деякі хімічні реакції без каталізаторів практично нездійсненні, наприклад, через надто велику енергію активації. Здавалося б, що для подолання вищого енергетичного бар'єру можна підвищити кінетичну енергію молекул, тобто збільшити температуру. Але для багатьох оборотних екзотермічних реакцій підвищення температури призводить до зсуву рівноваги в зворотну сторону і робить реакцію недозволеною термодинамічно. У таких випадках застосування каталізатора не лише виправдане, а й необхідне.

Як приклад, розглянемо реакцію синтезу аміаку, що характеризується дуже великим значенням енергії активації – 280 кДж/моль. Для подолання такого високого енергетичного бар'єру реагенти необхідно було б нагріти до температури вище 1000°C, при

якій рівноважний ступінь перетворення навіть при дуже низькому тиску мізерно малий.

У присутності каталізатора на основі заліза енергія активації синтезу аміаку знижується до 160 кДж/моль, що дозволяє проводити реально процес з досить високою швидкістю при температурах 400–500°C і високих тисках, досягаючи 20–35%-го ступеня перетворення вихідної сировини.

Останнім досягненням у цій області є створення комплексних металоорганічних каталізаторів, в присутності яких цей синтез проходить при нормальних умовах: температурі 18°C і тиску 1 атм., тобто здійснюється біохімічний процес зв'язування атмосферного азоту:



Підвищення температури мало збільшує коефіцієнт дифузії, а каталізатори не прискорюють дифузійні процеси, тому вони застосовуються лише для процесів, що протікають в кінетичній ділянці.

Особливості кінетики гомогенних і гетерогенних процесів

Для гомогенних реакцій, зокрема для реакцій в рідкій фазі, дифузійні процеси перенесення речовини з однієї точки реакційного простору в іншу, особливо при великих розмірах реактора, також відіграють певну роль, але зазвичай вони протікають з досить великою швидкістю і не впливають істотно на швидкість хімічної взаємодії, процес лімітується швидкістю хімічної реакції, тобто протікає в кінетичній ділянці:

$$U = k C_A^a \cdot C_B^b$$

Для гетерогенних процесів врахування швидкості перенесення речовини із однієї фази в іншу значно важливіше, в міру ускладнення цього процесу. Найчастіше швидкість гетерогенного процесу визначається не швидкістю хімічної реакції, а саме швидкістю процесів переносу, тобто процес лімітується дифузійною стадією.

Для гетерогенних процесів при відомому значенні поверхні дотику фаз F швидкість реакції:

$$U = k F \Delta C$$

де k – константа швидкості процесу (або масопередачі),
 ΔC – рушійна сила процесу.

З рівняння видно, що для прискорення цих процесів необхідно збільшувати поверхню дотику речовин, що знаходяться в різних фазах.

Способи збільшення поверхні контакту фаз у різних гетерогенних системах

Для збільшення поверхні дотику речовин, що знаходяться в різних фазах, насамперед проводять їх подрібнення (диспергування). Способи зміни поверхні контакту фаз залежать від виду системи: Г–Р, Г–Т, Р–Р, Р–Т, Т–Т, а також від умов проведення процесу і, як правило, збільшують поверхню більш важкої фази.

Збільшити поверхню контакту фаз можна шляхом створення хороших умов контакту.

Для систем Г–Т і Р–Т такими умовами є: а) перемішування твердого матеріалу механічними помішувачами; б) перемішування твердого подрібненого матеріалу в потоці газу або рідини; в) пропускання потоку газу або рідини через нерухомий шар шматків або гранул твердого матеріалу, що лежить на колосниках або решітках; г) перемішування у завислому (киплячому, псевдозрідженому) шарі.

Система Г–Р вимагає виконання наступних умов: а) збільшення поверхні рідкої фази шляхом розподілу рідини у вигляді тонкої плівки по поверхні спеціальних пристроїв, які називаються насадками; б) зрушення поверхні рідкої фази диспергуванням або розпиленням, розбризкуванням її в апараті пневматичним способом, в) барботування газу в об'ємі рідини, тобто збільшення поверхні дотику пропусканням газу зверху вниз через шар рідкої фази; г) створення завислого шару рухомої піни пропусканням газу знизу вгору через шар рідини. В останньому випадку газорідина система є шаром рухомої піни.

Збільшення поверхні контакту фаз у системі Р–Р досягається за допомогою пневматичних і механічних мішалок.

Тверді матеріали змішуються в обертових барабанах і механічних змішувачах.

Інтенсивність перемішування збільшує константу швидкості процесу за рахунок заміни молекулярної дифузії конвективною. При цьому знижуються дифузійні гальмування. Відповідно, перемішування доцільно застосовувати для процесів, що протікають в дифузійній ділянці доти, поки не настане перехід процесу з дифузійної області в кінетичну.

Запитання

1. Що вивчає хімічна кінетика? Кінетичне рівняння?
2. Показати різницю між мікро- і макрокінетикою?
3. Висвітлити основні принципи хімічної кінетики?
4. Розкрити особливості кінетики гомогенних і гетерогенних процесів?
5. Навести способи збільшення поверхні контакту фаз у різних гетерогенних системах?

ТЕМА 3

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ВИРОБНИЦТВ НА ОСНОВІ МАЛОВІДХОДНИХ І БЕЗВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Лекція 7

Основні напрямки. Принцип системності. Принцип доцільності. Зміна технологічних принципів у виробництві конкретної продукції

План

1. Основні напрямки розробки мало- і безвідходних виробництв
2. Зміна технологічних принципів у виробництві конкретної продукції
 - 2.1. Заміна реагентів і вибір механізму реакцій в основному технологічному процесі

Основні напрямки розробки мало- і безвідходних виробництв

Однією з основних причин негативного впливу виробництва на навколишнє середовище є недосконалість технологій.

Створення МВТ та БВТ або чистих технологічних процесів, виробництв є складним, комплексним, багатостадійним і багаторівневим завданням.

На сьогодні чітко визначилося 5 основних напрямків або принципів у розробці БВТ або МВТ: системності, доцільності, циклічності, комплексності, рекуперації відходів.

1. *Принцип системності* – є ключовим. Він стосується організації виробництва.

В основу принципу системності покладено системний аналіз. Згідно з цим принципом кожен окремий процес розглядається як елемент більш складної виробничої системи, а на більш високому ієрархічному рівні – як елемент всієї еколого-економічної системи. Цей принцип враховує взаємозв'язок і взаємозалежність виробничих, соціальних і природних процесів.

Як приклад – створення територіально-виробничих комплексів. Зрештою цілеспрямовані дії в цьому напрямку повинні привести до виникнення спочатку в окремих регіонах, а в майбутньому і в масштабах всієї країни безперервного техногенного кругообігу речовин і пов'язаних з ними перетворень енергії.

2. *Принцип доцільності*. Як уже неодноразово зазначалося, головне в маловідходному, і тим більше в безвідходному або чистому виробництві – не переробка відходів, а організація технологічних процесів з переробки сировини таким чином, щоб відходи не утворювалися в самому виробництві. Виходячи з цього сформулюємо принцип доцільності:

Розробка принципово нових технологічних процесів, при впровадженні яких істотно знижується або практично унеможливорюється утворення відходів і, відповідно, негативний вплив на біосферу.

Він включає два напрямки:

1) *зміна технологічних принципів у виробництві конкретної продукції*: а) заміна реагентів і вибір механізму реакцій в основному технологічному процесі, які відбуваються за м'яких умов (Т і Р, наближені до нормальних) з виходами, близькими до 100%; б) зменшення кількості стадій виробництва.

2) удосконалення технологічного обладнання (суворе дозування вихідних матеріалів і реагентів; відсутність втрат – герметизація і пневмотранспорт; заміна періодичних процесів безперервними; збільшення потужностей хіміко-технологічних систем та окремих апаратів, інтенсифікація їх роботи; автоматизація управління технологічним процесом).

3. *Принцип циклічності – створення оптимальних технологічних схем із замкнутими матеріальними й енергетичними потоками.*

Включає:

а) розробку газо- і водооборотних циклів і організацію безстічних виробництв;

б) розробку енерготехнологічних процесів.

4. *Принцип комплексності – комплексне використання всіх компонентів сировини з максимально повним вилученням корисних продуктів і раціональне використання енергоресурсів.*

5. *Принцип рекуперації промислових відходів – використання відходів одного виробництва в якості сировини інших виробництв, що досягається комбінуванням виробництв.*

Зміна технологічних принципів у виробництві конкретної продукції

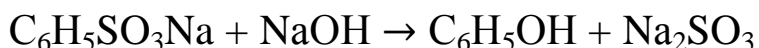
Заміна реагентів і вибір механізму реакцій в основному технологічному процесі

Згідно закону сталості складу речовини один і той же хімічний продукт може бути одержаний різними способами, з різних видів сировини і з витратою різної кількості реагентів і енергії. Вибір того чи іншого способу здійснювався, часто і зараз здійснюється, без урахування екологічних наслідків. Разом з тим можливості покращення в основному виробництві великі і далеко ще не вичерпані.

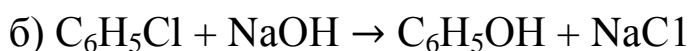
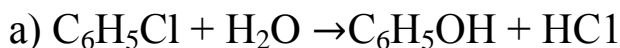
В області органічного синтезу можна привести приклад виробництва фенолу – великотоннажного хімічного продукту.

Синтетичний фенол з промислового масштабу довгий час, отримували в основному двома методами.

1. *Сульфураційний метод – сульфуруванням бензолу з утворенням бензолсульфо кислоти і подальшим лужним плавленням її солей з NaOH (вихід 92 %):*



2. *Хлорбензолний метод Хугера-Рашига:* окислювальне гідрохлорування бензолу з наступним гідролізом утвореного хлорбензолу а) водяною парою або б) омиленням розчином NaOH:



Як видно з рівнянь реакцій, обидва ці методи заздалегідь зумовлюють утворення великої кількості відходів, що іноді перевищує кількість цільового продукту. Необхідно зазначити, що тут наведені кінцеві стадії отримання фенолу, проте і на проміжних також утворюється велика кількість різних побічних речовин плюс виходи продуктів реакцій, далекі від 100 %.

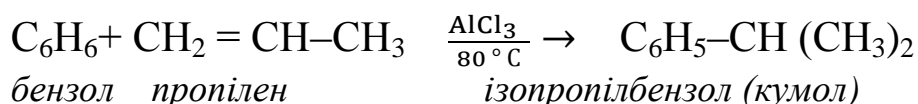
Наприклад, в першому випадку на 1 т кінцевого цільового продукту припадало більше 1 т сульфїту натрію Na₂SO₃, сульфату натрію Na₂SO₄, десятки кілограмів оксидифенїлів. У другому випадку при контактному гідролїзі хлорбензолу виділяється агресивний хлористий водень, який у присутності вологи перетворюється на соляну кислоту, здатну роз'їдати металевий корпус реактора, а також побічних продуктів – поліхлоридів бензолу (на 1 т фенолу близько 100 кг).

При омиленні хлорбензолу лугом крім хлориду натрію утворюються побічні продукти – дифенїловий ефір, орто- і пара-ксилоли (диметил бензоли).

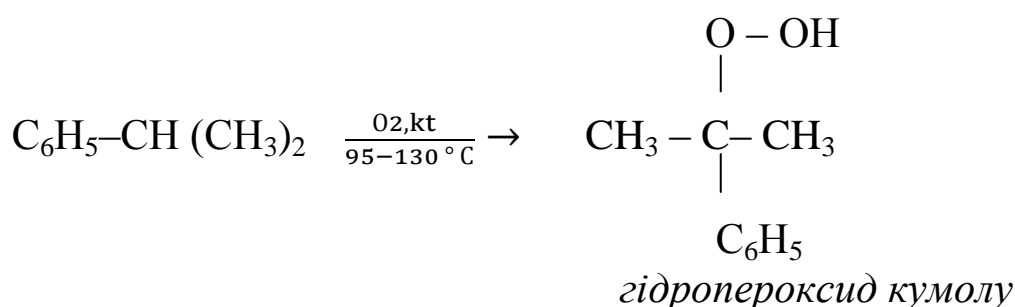
Усі перераховані відходи, внаслідок їх забрудненості, важко використовувати надалі. Крім того, ці способи характеризуються великою витратою лугу.

У 50-х роках 20 століття в СРСР був розроблений процес одержання фенолу кумольним методом, тобто через гідропероксид ізопронїлбензолу (кумолу), що дозволив кардинально вирішити проблему відходів. Це пов'язано з вдалим вибором схеми хїміко-технологїчного процесу. Схема процесу наступна:

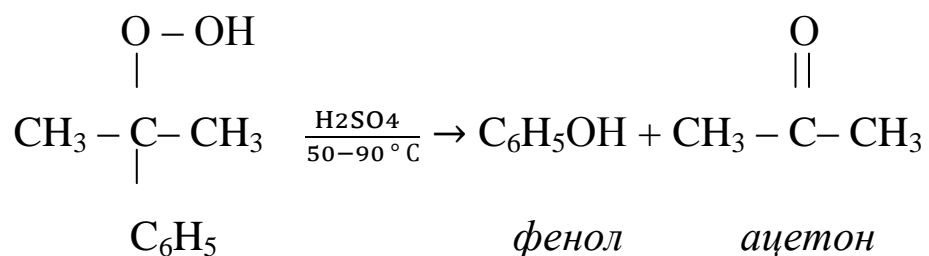
1 стадія. Алкілування бензолу:



2 стадія. Окислення кумолу киснем повітря:



3 стадія. Розклад гідропероксиду кумолу:



При такому процесі з 1 т фенолу утворюється 600 кг ацетону – іншого цінного великотоннажного цільового продукту. Крім цього, кумольний метод вигідно відрізняється від інших методів м'якими умовами проведення всіх стадій процесу (верхня температурна межа 130° С), застосуванням невеликих кількостей сірчаної кислоти, відсутністю луку, хлору і соляної кислоти.

При цьому методі можливе утворення невеликих кількостей кислот – соляної – на 1 стадії внаслідок гідролізу AlCl_3 , і мурашиної – як побічного продукту окислення на 2 стадії. Однак корозія апаратури, що виникає в цьому випадку, менш інтенсивна і попереджується легше, ніж корозія, що виникає при використанні інших методів. Перевагою методу є також заміна традиційно використовуваних в органічному синтезі окислювачів, таких як хромова суміш, діоксид марганцю, перманганат калію, на кисень повітря.

Вихід обох основних продуктів синтезу (фенолу і ацетону) (близький до 90 %, але незважаючи на це схему можна вважати практично безвідходною, оскільки інші сполуки, одержувані в цьому процесі як побічні (орто-метилстирол, кумілфенол і оксіфенілпропан), також виділяють і використовують. Тому залишок,

що не знаходить застосування та відправляється на спалювання, виявляється досить малий, менше 1 % в розрахунку на вихідні речовини. Ці обставини привели до того, що кумольний метод зараз став основним, що дає 96 % фенолу.

Таким чином, можливість здійснення такої практично безвідходної технології обумовлена вирішенням технологічного завдання, тобто зміною технологічних принципів у виробництві: заміною реагентів і вибором механізму реакції, що протікають в м'яких умовах з великими швидкостями і з виходами, близькими до 100 %.

Можна привести ще декілька прикладів.

У сірчаноокислотному виробництві розроблений і впроваджений метод подвійного контактування і подвійної абсорбції. У результаті ступінь конверсії SO_2 підвищився до 99,5 %, а викиди в атмосферу знизилися в 5–6 разів.

У чорній металургії успішно впроваджений безкоксвий метод отримання заліза відновленням окалини воднем або конвертованим природним газом, у результаті усувається доменний шлак і коксохімічне виробництво, а також пов'язане з ним утворення значних кількостей шкідливих викидів.

Запитання

1. Дати загальну характеристику основних принципів розробки мало- і безвідходних виробництв:

- а) принцип системності;
- б) принцип доцільності;
- в) принцип циклічності;
- г) принцип комплексності
- д) принцип рекуперації відходів?

2. Розкрити перший напрямок принципу доцільності: зміну технологічних принципів у виробництві конкретної продукції?

Лекція 8

Зменшення кількості стадій виробництва. Удосконалення технологічного обладнання

План

- 1. Зменшення кількості стадій виробництва
- 2. Удосконалення технологічного обладнання

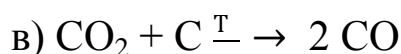
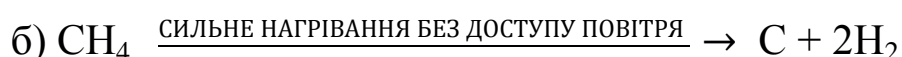
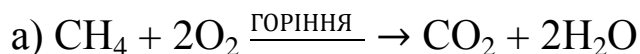
Зменшення кількості стадій виробництва

Зменшення кількості стадій виробництва також є одним з технологічних принципів, що призводять до зниження кількості відходів.

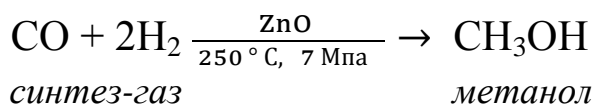
При розробці безвідходного виробництва необхідно враховувати, що виробничий процес повинен здійснюватися при мінімально можливій кількості технологічних стадій і апаратів, суміщенні операцій, оскільки на кожній з них утворюються відходи та втрачається сировина.

Як приклад можна розглянути отримання формальдегіду з природного газу. Раніше цей процес здійснювали в декілька послідовних стадій:

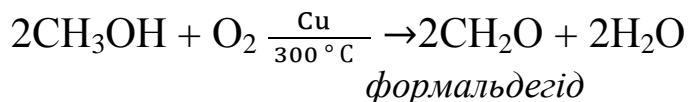
1 стадія. Отримання синтез-газу – здійснюється в кілька етапів:



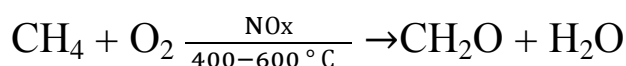
2 стадія. Синтез метанолу:



3 стадія. Окислення метанолу:



Розроблений пізніше інший спосіб прямого окислення метану до формальдегіду з використанням селективних каталізаторів – оксидів азоту NO_x дозволяє багатостадійний процес (отримання синтез-газу → синтез метанолу → окислення метанолу) замінити одностадійним.



Якщо порівнювати цей метод з попереднім, то тут відсутні процеси горіння, необхідність створення високого тиску, можливі відходи каталізаторів, а також утворюваний метиловий спирт є більш чистим, тобто не забруднений домішками важких металів. Крім того, одностадійний процес дозволяє знизити кількість апаратів у технологічній схемі, що призводить до економії металу, меншій потребі в ремонті, обслуговуючому персоналі, можливості автоматизації виробництва та ін.

Удосконалення технологічного обладнання

Другий напрямок принципу доцільності – удосконалення технологічного обладнання.

Як розглянуто раніше, безвідходні і маловідходні технології ґрунтуються на хімічних процесах, що протікають з виходами основних реакцій, близькими до 100 %, в умовах, що створюються в хімічній апаратурі.

З цього випливає необхідність вдосконалення хімічної техніки, що досягається збільшенням потужностей хіміко-технологічних систем та окремих апаратів.

Можливість створення мало- і безвідходних технологій залежить також від масштабу здійснення процесів. Агрегати великої одиничної потужності, як правило, дають викиди в навколишнє середовище істотно менші (на одиницю продукції), ніж невеликі агрегати і установки.

Збільшення потужностей ХТС і окремих апаратів призводить до відповідного підвищення їх продуктивності. Продуктивність Π (одинична потужність) вимірюється кількістю виробленого продукту або переробленої сировини G за одиницю часу t :

$$\Pi = G / t$$

Збільшення потужності можна досягти шляхом збільшення агрегатів. Розглянемо, наприклад, процес синтезу аміаку.

Потужність основних реакторів аміачного виробництва зросла за останні роки в 30 разів, а питомі кількості відходів і стоків на одиницю продукції зменшилися (табл.1.):

Таблиця 1

Об'єм викидів у виробництві аміаку, кг/т

Викиди	Малотонажні виробництва (100 тис. т/год)	Великотонажні виробництва (500 тис т/год)
Оксиди азота	1,7	1,24
Оксиди сірки	6,2	0,08
Неорганічний пил	3,2	0,01
Всього	11,1	1,33

При отриманні аміаку споживається велика кількість оборотної води. Забруднення водою пропорційно витраті води і при її скороченні також знижується. В агрегатах більшої потужності (500 тис. тонн на годину) значно менше споживання води (майже в 9 разів), що призводить до зменшення кількості стічних вод майже в 50 разів (табл. 2):

Таблиця 2

Норми витрати оборотної води у виробництвах аміаку різної потужності

Потужність агрегатів, тис. т/рік аміаку	Тип охолодження	Витрата води, м ³ /т аміаку
100	водяне	500
200	водяне	510
400	водно-повітряне	169
500 (1360 т/добу)	повітряне	55

Таким чином, при зростанні масштабів виробництва питомі кількості відходів і стоків на одиницю продукції зменшуються.

Інтенсифікація роботи апаратів – підвищення їх продуктивності без збільшення їх розмірів за рахунок покращення режиму роботи. Інтенсивністю роботи апарату I називають його продуктивність П, віднесена до об'єму апарату V або до площі його перерізу S;

$$I = \frac{P}{V} = \frac{G}{t V} \text{ або } I = \frac{G}{t S}$$

Інтенсифікація досягається двома шляхами: 1) поліпшенням конструкції апаратів; 2) вдосконаленням технологічних процесів в апаратах даного виду. Ці два шляхи тісно пов'язані між собою. З поліпшенням конструкції апарату інтенсивність хімічного процесу підвищується. Збільшенню інтенсивності сприяють підвищення температури, тиску і концентрації реагуючих мас, посилення перемішування компонентів, збільшення поверхні зіткнення між взаємодіючими речовинами, застосування каталізаторів.

З інтенсифікацією процесів тісно пов'язана *заміна періодичних процесів безперервними*.

Періодичним називається процес, в якому порція сировини завантажується в апарат, проходить в ньому ряд стадій обробки і потім з апарату вивантажуються всі утворені речовини. Таким чином, від завантаження сировини до вивантаження продукту проходить певний час, протягом якого апарат працює. У період завантаження і вивантаження апарат простоє. Механізація і автоматизація цих процесів ускладнена, тому що показники режиму (температура, тиск, концентрація речовин) змінюються протягом усього періоду реакції. Періодичні процеси складні в обслуговуванні. Тривалість циклу періодичного процесу завжди більша, ніж безперервного; енергетичні витрати вищі.

Безперервними називаються процеси, в яких надходження сировини і випуск продукції відбуваються безперервно (або систематичними порціями) протягом тривалого часу. При цьому немає простоїв обладнання, продуктивність вища і, як правило, якість краща. Такі процеси дозволяють автоматизувати виробництво.

Запитання

1. Охарактеризувати напрям: зменшення кількості стадій виробництва. Навести приклад отримання формальдегіду?
2. Розкрити другий напрямок принципу доцільності – удосконалення технологічного обладнання?
3. Що означає інтенсифікація роботи апаратів?
4. Які процеси називаються періодичними?
5. Які процеси називаються безперервними?

Лекція 9

Принцип циклічності. Створення оптимальних технологічних схем із замкнутими матеріальними потоками

План

1. Поняття промислового метаболізму
2. Циклічність потоків речовини
 - 2.1. Газооборотні цикли
 - 2.1.1. Вентиляційні гази
 - 2.1.2. Технологічні гази
 - 2.2. Водооборотні цикли
 - 2.2.1. Сутність, критерії та основні схеми водооборотних циклів
 - 2.2.2. Вимоги до якості води в оборотних системах

Поняття промислового метаболізму

В останні роки в екологічній науці з'явилося поняття – промисловий метаболізм (Industrial Metabolism), який простежує матеріальні та енергетичні потоки сировини через виробництво і використання до кінцевого знешкодження та захоронення.

Промисловий метаболізм висвітлює принципову відмінність між природними і антропогенними системами. У природних системах матеріальні потоки практично замкнуті. Промислові ж системи є в основному розсіювальними, що призводять до занадто малих концентрацій елементів і речовин, щоб бути використовуваними, але здійснюють серйозний токсичний вплив на довкілля.

Аналіз причин негативного впливу діючих технологій на природні системи показує, що вони обумовлені розходженням кругообігу речовин в господарських системах у порівнянні з екологічними системами. В останніх кругообіг речовин повністю замкнутий, надходження і витрата речовини збалансовані.

Принцип циклічності в технології включає два основних напрямки:

- 1) створення замкнутих матеріальних потоків;
- 2) створення замкнутих енергетичних потоків – розробка енерготехнологічних процесів.

Зрештою послідовне застосування принципу циклічності повинно привести до формування спочатку в окремих регіонах, а згодом і в усій техносфері свідомо організованого й регульованого

техногенного кругообігу речовин і пов'язаних з ним перетворень енергії.

Циклічність потоків речовини

Прикладами замкнутих матеріальних потоків на виробництві є водооборотні і газооборотні цикли. Найважливіші з них – замкнуті водооборотні цикли, які формують виробничу систему за аналогією з природним кругообігом води.

Газооборотні цикли

Існуючі системи локальної очистки промислових газових викидів часто не забезпечують зниження концентрації забруднювачів до ГДК і необхідним є розсіювання газів через високі труби. У цьому випадку доцільним є організація замкнутих газооборотних систем, що використовують технологічні та вентиляційні гази в замкнутому циклі.

Крім запобігання забруднюючих викидів в атмосферу газооборотні цикли забезпечують і економне витрачання реагентів, а саме – рекуперацію, тобто повернення в реакційну систему не прореагованих вихідних речовин, а також утилізацію цінних компонентів у викидних газах.

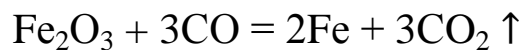
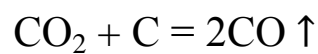
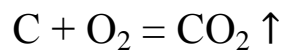
Вентиляційні гази

1. Прикладом організації технологічних процесів з рециркуляцією газових вентиляційних потоків є замкнута система використання аспіраційного повітря після очистки на рукавних фільтрах в корпусах збагачувальних фабрик азбестових комбінатів. Подібна система дозволяє очистити повітря від забруднень (азбесту) до рівня ГДК, отримати додаткову продукцію і підтримувати необхідну температуру всередині корпусів у зимовий період без додаткових затрат тепла.

2. Рециркуляція димових газів є одним з найбільш поширених і добре вивчених способів зниження виходу оксидів азоту в процесах горіння. Утворення NO_x в процесі горіння можливе в результаті реакції між киснем і азотом повітря при високих температурах. Реакція проходить за радикальним механізмом з участю вуглеводневих радикалів і зв'язаного азоту, що міститься в паливі

(мазут, вугілля). Рециркуляція димових газів здатна зупинити в тій чи іншій мірі утворення NO_x з азоту повітря. При коефіцієнті надлишку повітря 1,03 подача рециркуляційних газів в продувне повітря дозволяє знизити кількість утворюваного NO_x до 50 % від початкового значення.

3. У НВО «Тулачермет» розроблена установка, на якій відхідний з доменної печі колошниковий газ очищується від CO_2 і знову повертається в піч. Це дає можливість здійснити технологічний процес повністю замкнутий по газовій фазі.



Технологічні гази

1. Прикладом замкнутих потоків технологічних газів служить виробництво аміаку.

Азотоводнева суміш очищується від домішок в абсорбері водним розчином моноетаноламіна (процес проходить під тиском 2,6 МПа), стискається в компресорі до 30 МПа і подається в контактний апарат (колону для синтезу NH_3 (450–500° С).

Потік газів, що виходять з колони синтезу, охолоджується в холодильнику, продукт (аміак) відділяється, а азотоводнева суміш, яка не прореагувала повертається на повторне перетворення в колону синтезу.

2. Розроблена схема організації рециркуляції технологічних газів при висушуванні і охолодженні у виробництві мінеральних добрив. Наприклад, для виробництва фосфорних добрив, зокрема, при одержанні екстракційної фосфорної кислоти дигідратним способом, у виробництві гранульованого подвійного і простого суперфосфату, а також складних добрив.

Водооборотні цикли

Розвиток промисловості призводить до росту кількості споживаної води, збільшення об'єму й ускладнення складу стічних вод і, як наслідок, подорожчання їх обробки. Простим збільшенням кількості очисних споруд проблему вирішити не можна.

Основними заходами дня скорочення споживання води в хімічній промисловості є:

- а) вдосконалення технологічних процесів, наприклад, застосування маловодних або безводних процесів;
- б) заміна водяного охолодження повітряним;
- в) впровадження водообороту в хіміко-технологічні процеси;
- г) розробка замкнених (безстічних) систем водокористування.

Сутність, критерії та основні схеми водооборотних циклів

При прямолінійному водозабезпеченні вся вода, що забирається з водойми, після використання в технологічному процесі повертається у водойму за винятком безповоротних втрат у виробництві і втрат зі шламом на очисних спорудах.

У водооборотних циклах технологічних систем окремих виробництв здійснюється *багаторазове використання води*.

Оборотну воду в основному використовують в теплообмінній апаратурі для відведення надлишкового тепла. Можливе повторне використання частини стічних вод у виробництві після їх очистки, якщо їх склад відповідає нормативним вимогам.

Основним *критерієм ефективності водооборотного циклу* на підприємстві є коефіцієнт використання води або кратність циркуляції, який визначається як відношення загального обсягу споживаної підприємством води до обсягу свіжої води, що забирається за один і той же час:

$$K = Q_{\text{СПОЖ}} / Q_3,$$

$$Q_{\text{СПОЖ}} = (Q_3 - Q_{\text{СК}}),$$

$$K = (Q_3 - Q_{\text{СК}}) / Q_3 = 1 - Q_{\text{СК}} / Q_3$$

де Q_3 і $Q_{СК}$ – кількості забраної з джерела свіжої води і скинутої у водойму стічної води.

У даний час застосовуються три основні схеми водооборотних циклів. При цьому вся вода в процесі виробництва може: а) тільки нагріватися або б) тільки забруднюватися або в) нагріватися і забруднюватися одночасно.

Дня повернення води у виробництво:

1) у першому випадку її охолоджують в градирні або іншому апараті;

2) у другому – піддають очищенню;

3) у третьому випадку очищають і охолоджують, після чого вода знову надходить у виробництво.

При цьому можливі такі втрати:

Q_V – виробничі,

$Q_{ВИП}$ – випаровування при охолодженні,

$Q_{ВИН}$ – винесення з охолоджувача,

$Q_{СК}$ – скидання з системи для її освіження,

$Q_{ШЛ}$ – скидання зі шламом,

$Q_{ДОД}$ – кількість води, що додається в систему.

На більшості підприємств хімічної та нафтохімічної промисловості для підвищення ефективності водопостачання створюються одночасно декілька (мінімум дві) системи оборотного водопостачання, що відрізняються якістю води.

Вимоги до якості води в оборотних системах

У процесі багаторазової циркуляції вода оборотних систем нагрівається, охолоджується, частково випаровується, аерується, мінералізується, стає більш корозійно активною, здатною до відкладання мінеральних солей і бактеріологічного обростання. Істотно підвищує кратність циркуляції оборотних вод їх комплексна підготовка – очищення від суспензій, реагентна обробка для зменшення корозії апаратури і пригнічення діяльності бактерій.

До води, яка циркулює в оборотній системі, ставляться вимоги не лише щодо забезпечення нормального технологічного процесу виробництва, а й дотримання санітарно-гігієнічних нормативів.

Можна сформулювати загальні принципи створення водооборотних циклів хімічних підприємств:

1. Для підвищення ефективності очищення від забруднень оборотних вод, вони повинні бути *багатоконтурними*, тобто стічні води із забруднюючими речовинами, близькими за властивостями, повинні знаходитися в окремому замкнутому контурі.

2. Локальні системи очистки в оборотних циклах водопостачання повинні забезпечувати *демінералізацію* стічних вод, *очищення від механічних домішок*, *усунення біозабруднень*.

3. З метою боротьби з біозаростанням і корозією апаратури, яка контактує з водою цих систем, повинно бути передбачено *введення у воду відповідних інгібіторів*.

Запитання

1. Розкрити поняття промислового метаболізму?
2. Що означає «циклічність потоків речовини»?
3. Охарактеризувати газооборотні цикли (вентиляційні гази, технологічні гази)?
4. Які основні заходи дня скорочення споживання води в хімічній промисловості?
5. Розкрити сутність, критерії та основні схеми водооборотних циклів?
6. Висвітлити вимоги до якості води в оборотних системах?

Лекція 10

Замкнені і безстічні системи водного господарства

План

1. Загальна характеристика замкнутих та безстічних технологічних систем
2. Замкнута система водного господарства Первомайського виробничого об'єднання

Загальна характеристика замкнутих та безстічних технологічних систем

Глибина очищення використовуваної в оборотних системах води залежить від вимог, які висувають до неї споживачі. У багатьох випадках ці вимоги значно нижчі, ніж при скиданні води у водойму. Проте досвід експлуатації оборотних систем показує, що вони також не можуть повністю виключити забруднення водойм. У системах

оборотного водопостачання зазвичай до 10 % води замінюється на свіжу через продувку, втрату та ін. Скидання засолених продувних вод з промислового майданчика негативно позначається на загальному стані водойм та збільшує витрати на водопідготовку розташованих нижче споживачів води.

Ефективним методом охорони природних водних ресурсів від забруднення і виснаження та значного зменшення споживання свіжої води є впровадження замкнених і безстічних систем водного господарства. *Замкнуті системи повністю виключають потрапляння забруднень зі стічними водами в навколишнє середовище і майже повне припинення споживання свіжої води на технологічні потреби.* Витрачання свіжої води і поповнення її (підживлення) пов'язані з необхідними технологічними перетвореннями і звичайним спадом (випаровування, вибризування та ін.). Причому для поповнення безповоротних втрат можна використовувати очищені зливні, дренажні і особливо господарсько-побутові стічні води.

Замкнута система передбачає, що всі відпрацьовані води використовуються у виробництві повторно або багаторазово без очищення або після відповідного очищення, яке повністю виключає скидання виробничих стічних вод.

В основі *безстічних технологічних систем* лежить безвідходна технологія, тобто форма організації технологічних процесів, при якій відходи виробництва зведені до мінімуму або повністю переробляються у вторинні матеріальні ресурси.

При створенні безстічних безвідходних систем водного господарства підприємств здійснюється об'єднання локальних підсистем (оборотних циклів, прямотічних систем водопостачання та каналізації) в єдину, органічно зв'язану систему всього підприємства, оптимальну за економічними та екологічними показниками. Проектування замкнених систем проводиться одночасно з проектуванням основного виробництва. Утворені при очищенні стічних вод осадки переробляються в товарну продукцію або використовуються у вигляді вторинної сировини.

Оснoву створення замкнених систем водного господарства становлять локальні замкнуті системи технічного водопостачання – *охолоджуюча, екстрагенна і гідротранспортна.* У першому випадку вода використовується як охолоджуючий агент з урахуванням регенерації та утилізації отриманого тепла. У другому – як розчинник і реакційне середовище, а також екстрагент для промивки продуктів і

напівпродуктів, газів, устаткування та ін. Вода використовується як транспортуючий засіб для пилу, шламу, золи та ін. Тому питанням першочергової важливості при створенні замкнутих водних систем є розробка науково-обґрунтованих вимог до якості води, використовуваної в усіх технологічних процесах і операціях. У переважній більшості технологічних операцій немає необхідності у використанні води питної якості.

Неодмінною умовою створення замкнутої системи водного господарства є поділ мереж каналізації та формування стоків з близькими фізико-хімічними характеристиками. Це дозволяє організувати найбільш ефективну їх очистку або обробку для подальшого застосування.

Інша умова – баланс води і всіх потрапляючих в систему компонентів (з підживлювальною водою, при використанні води споживачами, при її обробці та охолодженні) із забезпеченням нормативної якості води (стабільність, температура, концентрація компонентів за технологічними і санітарним умовам) і переробкою відходів її очистки.

Норма водоспоживання – доцільна кількість води, необхідна для виробничого процесу і встановлена на основі науково-обґрунтованого розрахунку або передового досвіду.

Норма водовідведення – кількість стічних вод, що відводяться від промислового підприємства у водойму, при доцільній нормі водоспоживання.

Як приклад, можна навести схему водопостачання та каналізації нафтопереробного заводу паливного профілю, що працює без скидання стічних вод. На цьому заводі використовуються апарати повітряного охолодження. Очищення від сірчистих сполук здійснюється регенованими реагентами, за винятком очистки авіа гасу, яка здійснюється лугом. Стічні води подаються на очищення в системи, що поєднують установки термічного та електричного знесолення, біологічні очисні споруди. Залишок після випарювання надходить на переробку з метою виділення хлориду натрію. Поповнення систем оборотного водопостачання здійснюється очищеними стічними водами. Постійний сольовий склад води підтримується за рахунок виведення частини води на установку термічного знесолення і повернення знесолоного конденсату.

Замкнута система водного господарства Первомайського виробничого об'єднання

Прикладом ефективної системи замкнутого водопостачання, при якому повністю виключається скидання стічних вод у поверхневі водойми, а споживання води з джерел водопостачання передбачається тільки для поповнення безповоротних втрат, є Первомайське виробниче об'єднання.

Обмеженість запасів прісної води і нерівномірність її розподілу по території країни зумовлюють необхідність пошуку додаткових джерел промислового водопостачання. Одним із шляхів вирішення цього завдання є застосування очищених стоків міст в технічному водопостачанні. Велике значення в ряді випадків має об'єднання промислових стічних вод та побутових вод з подальшою їх очисткою та поверненням в цикл (Первомайський промисловий вузол).

Загальна схема водооборотного циклу складається з біологічної та фізико-хімічної очистки стічних вод хімічного заводу та деяких інших промислових підприємств і побутових стоків міста з подальшим доочищенням і поверненням в технологічний цикл 20 тис. м³/добу води. Оскільки до складу заводу входить ряд складних виробництв, таких наприклад, як отримання хлору, отрутохімікатів і миючих засобів, описана схема не має собі рівних ні в нашій країні, ні за кордоном. Повторно використовується до 97 % води, що досягається шляхом оптимального поєднання локальних очисних установок і загальнозаводських очисних споруд, доочистки стічних вод з утилізацією отриманих осадків у вигляді білково-вітамінного концентрату, органічних добрив і сульфату натрію. Доочистку стоків здійснюють на активованому антрациті і далі на іонообмінних смолах, після чого воду направляють в основне виробництво. Розчини, що утворилися при регенерації іонообмінних смол, використовують для отримання гранульованих азотних добрив.

У таблиці 10.1 наведені порівняльні дані про водоспоживання і використання стічних вод до і після впровадження комплексної схеми очистки стоків і оборотного водопостачання, тис. м³/добу.

Впровадження комплексної схеми очистки та повторне використання міських промислових стічних вод дозволило знизити споживання свіжої води на даному виробництві з 75,6 до 29,4 тис м³/добу, тобто майже в 6 разів.

Таблиця 10.1

Порівняльні дані водоспоживання до і після впровадження замкнутої безстічної системи водного господарства

Показники	До впровадження	Після впровадження
Загальна витрата свіжої води	175,6	29,4
У тому числі хім. комбінатом	150,7	4,5
Загальна кількість води в обороті	151,2	688,4
Загальна кількість стічних вод, які поступають на біологічну очистку	137,2	16,8
У тому числі хімкомбінату	128,1	7,6
Скид стічних вод у водойму	137,2	–
Закачування стічних вод у підземні пласти	–	1,8
Повернення стічних вод у виробництво, %	–	95,7 %

Запитання

1. Охарактеризувати замкнуті та безстічні технологічні системи?
2. Дати визначення «норма водоспоживання», та «норма водовідведення»?
3. Проаналізувати замкнуту систему водного господарства на прикладі Первомайського виробничого об'єднання?

Лекція 11

Розробка енерготехнологічних процесів. Ексергетичний аналіз

План

1. Енерготехнологічні системи і схеми
2. Схема виробництва сірчаної кислоти під тиском
3. Енерготехнологічна схема одержання аміаку
4. Поняття ексергії
5. Види і складові ексергії

6. Ексергетичний аналіз

Енерготехнологічні системи і схеми

Одним з напрямків розробки мало- і безвідходних технологій є раціональне використання енергії, яке досягається шляхом створення енерготехнологій. Важливою особливістю таких технологій є суворе збалансованість виробництва і споживання енергії, основана на утилізації вторинних енергетичних ресурсів, зокрема теплоти хімічних реакцій.

Подібне можливо, як правило, в системах великої одиничної потужності. У даний час хімічні реактори в більшості великотоннажних виробництв поєднуються з теплообмінними елементами, які слугують для нагріву вихідних речовин до температури реакції з одночасним охолодженням продуктів перетворення або ж для отримання товарної водяної пари в котлах-утилізаторах за рахунок теплоти сильно екзотермічних процесів.

Наприклад, при виробництві сірчаної кислоти сумарна кількість енергії, що виділяється головним чином у вигляді теплової, становить залежно від виду використовуваної сировини, від 5000 до 8000 МДж на 1 т кислоти.

Для сучасного комплексу продуктивністю 6000 т сірчаної кислоти на добу потужність теплового потоку досягає 480 тис. кВт (потужність середньої ГЕС). Використання тільки 5 % потужності висхідного теплового потоку дозволяє повністю компенсувати витрати енергії на виробництво кислоти. Решта енергії може використовуватися для отримання високопотенційної пари. Виходячи з цього, розроблено спосіб отримання сірчаної кислоти під тиском, що є прикладом енерготехнологічної системи.

Схема виробництва сірчаної кислоти під тиском

Очищене і висушене повітря в певних апаратах (в абсорбері і адсорбері) компресується до тиску 0,5 МПа в компресорі і надходить в установку для спалювання сірки. Утворений сірчистий газ з температурою близько 1200° С подається в котел-утилізатор, де виробляється водяна пара з тиском 4 МПа і температурою 440° С. Утворена пара, в кількості 750–1000 кг на 1 т кислоти, використовується для вироблення електроенергії і може забезпечити

роботу парових турбін, які виробляють електроенергію для приводу компресора і живильних насосів, нагріву котла-утилізатора та ін., тобто система повністю незалежна від зовнішнього джерела електроенергії.

Енерготехнологічна схема одержання аміаку

За цією схемою одержання аміаку здійснюється в агрегатах великої одиничної потужності. Суть методу полягає в поєднанні каталітичного процесу отримання аміаку із азотно-водневої суміші з використанням виділеного при цьому тепла для одержання енергетичної пари. Сучасні агрегати з виробництва аміаку не споживають енергії із зовні, оснащені апаратами повітряного охолодження, не дають стоків і викидів в атмосферу, за винятком CO₂.

Таким чином, енерготехнологічна система передбачає максимальне використання енергії технологічних потоків усередині системи без підведення енергії ззовні.

Проте практична можливість використання теплоти хімічних реакцій різна і тим менша, чим ближче температура джерела теплоти до температури навколишнього середовища. Максимальна робота, що здійснюється системою при її взаємодії з навколишнім середовищем, отримала назву ексергії. Розглянемо це поняття більш детально.

Поняття ексергії

З точки зору технічної застосовності цінність будь-якої енергії визначається не тільки кількістю, а й тим, якою мірою вона може бути перетворена в інші види енергії.

Існує кілька формулювань ексергії, два з них дав З. Рант у 1956 та у 1962 рр.

Перше – *ексергія* це роботоздатність (від грец. Ex – приставка, що означає тут високий ступінь, і ergon – робота) – термін, який застосовується для позначення максимальної роботи, яку може здійснити система при переході з даного стану в стан рівноваги з усіма компонентами оточуючого середовища, що розглядається як джерело і приймач будь-яких потоків енергоносіїв (вода, пара, сировина, хім. продукти, відходи) і енергія (електрична, теплова).

Пояснимо дане визначення. По-перше, максимальну роботу можна отримати лише в оборотному (рівноважному) процесі, який теоретично можливий при нескінченно малій рушійній силі (наприклад, різниці температур, тисків, хімічних потенціалів). Усі реальні процеси відбуваються зі зростанням ентропії (відповідно до другого закону термодинаміки) при кінцевій різниці температур і, отже, необоротні. Тому отримана в них робота завжди буде меншою максимально можливою, для оцінки цієї роботи її потрібно порівнювати з максимально можливою в даному процесі, тобто з ексергією. По-друге, максимальна робота може бути отримана тільки при взаємодії системи з навколишнім середовищем. Наприклад, для отримання ексергії палива його спалюють в певній кількості кисню, взятому з навколишнього середовища; при використанні для горіння чистого кисню буде отримано більше теплоти, але сумарна ексергія виявиться меншою, оскільки для отримання кисню з повітря необхідно затратити деяку роботу, а значить ексергію. Аналогічно при нагріванні якого-небудь тіла теплоту потрібно підводити тільки для підвищення його температури вище температури навколишнього середовища, а до цієї температури підігрів відбувається за рахунок теплоти, що забирається від середовища.

В основі іншого формулювання ексергії З. Ранта (1962 р) лежить (для випадків, коли початкова температура тіла вище температури навколишнього середовища) припущення про те, що енергію тіла можна уявити сумою двох складових: $S = E + A$. Відповідно до цієї рівності ексергія E визначається як частина енергії, яка в даних умовах навколишнього середовища може бути перетворена в будь-яку її форму. Другу складову A , називають *анергією* (від грецького «а» – заперечуюча частка і *ergon* – робота), ні в яку іншу форму енергії, включаючи механічну роботу, перетворити не можна; між анергією і ентропією існує зв'язок: анергія – енергія повністю неорганізованого руху молекул, ентропія – міра цього руху.

Ексергія вимірюється в тих же одиницях, що і енергія і робота: в Дж, потік теплоти – в Дж/с, потік речовини – в Вт. Таким чином, ексергія, характеризуючи якість енергії промислової системи, тобто здатність бути перетвореною на корисну роботу, є універсальною мірою енергетичних ресурсів.

Отже, міра ресурсів перетворюваної енергії системи називається *ексергією*.

Параметри навколишнього середовища не залежать від параметрів розглянутої системи, які зазвичай передбачаються постійними і, згідно вказаного визначення ексергії, повинні перебувати в термодинамічній рівновазі з параметрами системи. Проте, ця умова нездійсненна, оскільки в середовищі завжди існують градієнти температур, тисків, хімічних потенціалів (що в практичних розрахунках можна не враховувати). Для повної характеристики середовища досить знати не більше трьох параметрів (як правило, температуру, тиск, хімічний склад). До того часу поки всі параметри системи не зрівняються з відповідними параметрами середовища, рівновага не буде досягнута і система може виробляти певну роботу, тобто володіти ексергією.

При роботі промислової установки в якості навколишнього середовища приймають атмосферне повітря (якщо в хімічному процесі не передбачено інше середовище – вакуум, інертний або інший газ).

Із самого поняття «ексергія» випливає, що ексергія навколишнього середовища дорівнює нулю.

Види і складові ексергії

Розрізняють два основних її види: ексергію таких форм енергії, які не визначаються ентропією, і ексергію потоків речовини і енергії, які характеризуються ентропією. До перших належать механічна, електрична, електромагнітна, та інші види енергії; в даному випадку ексергія дорівнює енергії системи і ніяких спеціальних розрахунків для визначення E не вимагається. До других належать форми енергії (наприклад, внутрішня енергія речовини, енергія хімічних зв'язків, теплового потоку), для кожної з яких ексергію обчислюють індивідуально в залежності від наявності та виду її матеріального носія, тобто різних тіл [ексергія речовини (маси) в об'ємі або в потоці] або об'єктів, не пов'язаних з масою в кількостях, що підлягають обліку (ексергія теплового потоку). Ексергія потоку речовини поєднує термомеханічні і хімічні складові, зумовлені відмінністю термічних і механічних властивостей речовини та навколишнього середовища і відповідних хімічного складу і хімічних потенціалів.

Ексергія (E) хіміко-технологічної системи залишається незмінною лише при оборотному проведенні всіх процесів усередині

системи і при взаємодії з навколишнім середовищем, що має постійні параметри.

Різниця загальної ексергії, що вводиться в систему $E_{ВХ}$, і виведеної з неї $E_{ВИХ}$ визначає сумарну величину втрат від незворотності в системі:

$$\Sigma E_{ПОТ} = \Sigma E_{ВХ} - \Sigma E_{ВИХ} \geq 0$$

Знак рівності досягається тільки в оборотному процесі. Відмінність ексергії від енергії в тому, що вона може безповоротно втрачатися.

Відношення ексергії, що відводиться із системи, до підведеної ексергії, називається ексергетичним ККД, який характеризує ступінь наближення до ідеального:

$$\Pi = \Sigma E_{ВИХ} / \Sigma E_{ВХ} = 1 - \Sigma E_{ПОТ} / \Sigma E_{ВХ}$$

Для визначення ККД (Π) необхідно скласти ексергетичний баланс, для чого необхідно визначити ексергію кожного виду енергії.

Вираз для визначення ексергії складається з таких складових:

$$E = E_{\Pi} + E_{К} + E_{\Phi} + E_{Х}$$

де $E_{К}$ – кінетична, E_{Π} – потенційна, E_{Φ} – фізична, $E_{Х}$ – хімічна ексергія.

Кінетична і потенційна ексергія збігаються за своїми значеннями з відповідними видами енергії. Фізична ексергія – це частина ексергії, яка є результатом неспівпадання температури і тиску даної речовини з температурою і тиском навколишнього середовища. Ексергія, що виникає із відмінності складу, називається хімічною ексергією. Сума хімічної та фізичної ексергії називається термічною ексергією $E_{Т}$.

В умовах рівноваги при будь-якій температурі $\Delta H = T\Delta S$, тому

$$E_{\Phi} = (H - H_0) - T_0 (S - S_0),$$

$$E_{Х} = \Sigma (\mu_i - \mu_0) N_i$$

де H , S – ентальпія і ентропія технологічного потоку,
 T_0 – температура навколишнього середовища,

μ_i і N_i – хімічний потенціал і молярний вміст i -того хімічного компонента потоку, індекс « 0 » належить до термодинамічних функцій, визначених при параметрах навколишнього середовища.

Ексергетичний аналіз

При розробці маловідходних і безвідходних технологій використовують ексергетичний термодинамічний аналіз, що дозволяє дати необхідну характеристику теплових і матеріальних потоків у виробничій схемі. Цей аналіз на відміну від звичайного термодинамічного аналізу, що ґрунтується на першому законі термодинаміки, враховує і другий закон термодинаміки. Його використання дозволяє більш точно визначити термодинамічні особливості процесу з урахуванням наближення його до оборотності.

1 закон термодинаміки застосовується до теплових явищ закону збереження і перетворення енергії.

2 закон термодинаміки визначає напрямок процесів, які відбуваються в природі. З нього випливає, що неможливо всю теплоту перетворити в роботу.

Ексергетичний аналіз (Е. а.) – метод термодинамічного аналізу промислових систем, у тому числі хіміко-технологічних, що розглядаються у взаємодії з навколишнім середовищем.

Зв'язки, установлені при Е. а. між термодинамічними характеристиками і техніко-економічними показниками аналізованої системи, дають можливість оцінити ефективність її роботи, а також визначити шляхи та способи вдосконалення. Об'єктивність отриманих при такому аналізі оцінок обумовлена насамперед тим, що вони засновані на розрахунку мінімально необхідних матеріальних і енергетичних затрат на реалізацію досліджуваного хіміко-технологічного процесу. У більшості інших методів для таких завдань використовують деякі операції порівняння (наприклад, зміни ентропії системи) по відношенню до яких і оцінюються показники досліджуваного об'єкта; результати подібного аналізу, звичайно, залежать від вдалого вибору операцій порівняння. Е. а. позбавляє дослідника від необхідності підбору зазначених операцій для діючих установок, а для нових (проектованих) дозволяє відразу виявити можливість їх впровадження у виробництво шляхом *порівняння мінімально необхідних витрат з наявними ресурсами*.

Запитання

1. Розкрити сутність понять енерготехнологічні системи і схеми?
2. Навести схему виробництва сірчаної кислоти під тиском?
3. Розкрити суть енерготехнологічної схеми одержання аміаку?
4. Розкрити сутність поняття ексергії?
5. Охарактеризувати види і складові ексергії?
6. Розкрити сутність ексергетичного аналізу?

Лекція 12

Принцип комплексності

План

1. Сутність принципу комплексності
2. Приклади комплексної переробки сировини в кольоровій металургії
3. Комплексна переробка апатито-нефелінової породи
4. Комплексна переробка нефелінового концентрату
5. Комплексне використання природних сумішей органічних речовин

Сутність принципу комплексності

Він передбачає комплексне використання всіх компонентів сировини з максимально повним вилученням корисних продуктів і раціональне використання енергоресурсів.

У разі комплексного використання сировини основні технологічні операції супроводжують: вилучення корисних, але не потрібних основному виробництву речовин, переробка цих речовин в цільові продукти або напівфабрикати, що постачаються власному основному виробництву або іншим підприємствам.

У собівартості продукції хімічної промисловості частка сировини досягає 70 %. Тому проблема ресурсів і раціонального використання сировини при її видобутку і переробці вельми актуальна.

Еколого-економічну концепцію комплексного використання сировини вперше сформулював академік А. Є. Ферсман. Ідея Ферсмана, висунута більше 70 років тому, продовжує залишатися актуальною і тепер.

Комплексний підхід, що має не тільки екологічне, але й економічне значення, нині входить до складу державної політики.

Практично всі сировинні джерела є багатокomпонентними і в середньому більше третини вартості сировини припадає на супутні елементи, які можуть бути вилучені тільки при комплексній переробці. Так, вже зараз практично все срібло, вісмут, платину, а також більше 20 % золота і близько 30 % сірки одержують попутно при комплексній переробці руд.

Таке використання сировини досягається, в основному, розділенням порід (мінералів) на складові, тобто відповідним: а) збагаченням сировини; б) розділенням рідкої і газоподібної сировини на велику кількість самостійних фракцій; в) поглибленням хімічної переробки складної сировини з виділенням її складових частин у вигляді цінних кінцевих продуктів.

При цьому з однієї гірської породи можна отримувати різні метали, неметалеві елементи, кислоти, солі, будівельні матеріали. Тим самим досягається:

1) зменшення відходів; 2) підвищення повноти вилучення цінних компонентів; 3) економія природної сировини і зменшення забруднення навколишнього середовища.

У більшості випадків комплексна переробка сировини призводить до комбiнування різних виробництв.

Як приклад можна привести комплексну переробку: а) поліметалевих руд, б) апатитового і нефелінового концентратів, що містять рідкісні метали, в) сумішей органічних речовин.

Приклади комплексної переробка сировини в кольоровій металургії

У кольоровій металургії для характеристики ефективності технологічних процесів вилучення елементів з руд широко використовується коефіцієнт комплексності, який у багатьох випадках перевершує 80 %. Коефіцієнт комплексності визначається часткою корисних речовин (y %), що вилучають із сировини, яка переробляється. За цим показником однією з провідних є свинцево-цинкова підгалузь. З цих руд вилучається 18 елементів (у тому числі метали платинової групи) і виробляється 40 видів товарної продукції.

Комплексне вилучення попутних цінних компонентів пов'язано з видаленням їх на різних стадіях технологічного циклу як шкідливих домішок, що перешкоджають нормальному перебігу технологічного процесу та отримання основних металів високого ступеня чистоти.

Тому комплексне вилучення багатьох попутних металів обумовлює також успішне вирішення проблеми підвищення якості металів і їх сполук до раніше недосяжних ступенів.

У даний час дуже багато рідкісних, розсіяних, у тому числі рідкоземельних елементів отримують практично тільки при комплексній переробці рудної сировини основних кольорових металів.

У кольоровій металургії переробляється велика кількість сульфідних руд, при цьому утворюються значні обсяги газоподібних викидів, що містять сірчистий газ. Спочатку такі гази викидали в атмосферу, потім їх стали вловлювати і у вигляді різних шламів направляти в хвостосховища. Нині у ряді підприємств діоксид сірки практично повністю вловлюється і переробляється в сірчану кислоту. Таким чином, перебудувавши технологію, підприємства не лише перестали забруднювати навколишнє середовище, але і стали випускати цінну і вкрай необхідну продукцію.

Комплексна переробка апатито-нефелінової породи

Величезні поклади цієї породи знаходяться на Кольському півострові. Апатито-нефелінову породу подрібнюють і розділяють методом флотації на апатит $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ і нефелін, який є складним алюмосилкатом натрію і калію спрощеної формули $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

У нашій країні вперше в світовій практиці розроблено технологію отримання глинозему (оксиду алюмінію) та інших цінних продуктів із нефелінової сировини, в той час як в інших країнах глинозем для виробництва алюмінію отримують тільки з бокситів.

З апатиту отримують фосфорну кислоту, фосфорні добрива, фториди, гіпс, але, як правило, не вилучають цінні рідкоземельні елементи.

Комплексна переробка нефелінового концентрату

Уже протягом багатьох років Волховський і Пікалівський глиноземні заводи переробляють нефелін за практично безвідходною технологією з врахуванням усіх компонентів сировини. При цьому витрати на виробництво всіх корисних продуктів, одержуваних з

нефелінової сировини, на 10–15 % нижчі вартості отримання цих продуктів іншими промисловими способами.

Раніше з нефеліну отримували кальциновану соду або карбонат натрію аміачно-хлоридним способом (спосіб Сольве). Штучно приготований розчин NaCl очищали від домішок кальцію і магнію, насичуючи аміаком, а потім піддавали карбонізації з наступним прожарюванням гідрокарбонату натрію.

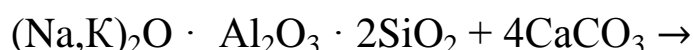
Основна реакція:



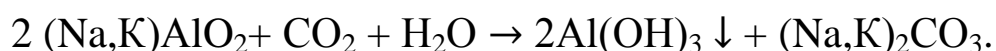
Отримання соди цим методом пов'язано з сумно відомими «білими морями» значних кількостей невикористовуваних токсичних відходів – розчини хлоридів натрію, кальцію, магнію, амонію – близько 8 тон на 1 т цільового продукту. Тому розроблено принципово новий метод виробництва соди.

Сутність комплексної переробки нефеліну полягає у вилученні його складових частин у вигляді декількох товарних продуктів.

Нефеліновий концентрат змішують з вапняком і обпалюють при температурі 1300° С. При цьому відбувається реакція:



Отриманий продукт вилуговують. Алюмінати натрію і калію переходять в розчин, а силікат кальцію залишається в осаді. Утворений твердий осад використовують для отримання портландцементу, а розчин алюмінатів піддають карбонізації:



Осад $\text{Al}(\text{OH})_3$, який при цьому випадає зневоднюють і отримують Al_2O_3 , що йде на виробництво алюмінію, а вихідний розчин, що містить карбонати натрію і калію, роздільною кристалізацією переробляють в готову продукцію – кальциновану соду Na_2CO_3 і поташ K_2CO_3 .

Отже, в результаті комплексної переробки нефелінової руди отримують кілька товарних продуктів за практично безвідходною технологією: на 1 т карбонатів натрію і калію (соди і поташу) до 1 т глинозему (оксид алюмінію), який використовують для отримання алюмінію і 8–10 т цементу.

Крім того, стає можливим попутно вилучити такі рідкісні елементи, як галій, титан, ванадій. Хоч останні два до теперішнього часу практично не вилучаються і викидаються у відвали.

Комплексне використання природних сумішей органічних речовин

Прикладами комплексного використання природних матеріалів, які є сумішами органічних речовин, можуть бути коксохімічна переробка вугілля, переробка нафти, сланців, торфу і деревини. З кожного з перелічених видів отримують сотні цінних продуктів.

Раніше при коксуванні вугілля єдиним продуктом був кокс, утворюваний газ спалювали, а смолу просто викидали, забруднюючи водойми і ґрунт. На сучасних коксохімічних підприємствах з коксового газу виділяють ароматичні вуглеводні, аміак, інші цінні продукти, потім частину газу піддають глибокому охолодженню з поділом його на фракції (водень, метан, етилен та ін.). Смолу, яка містить більше трьохсот органічних речовин, розділяють на компоненти і переробляють з метою одержання цінних продуктів.

Таким чином, потенційні забруднювачі навколишнього середовища перетворилися на сировинне джерело багатьох нових хімічних виробництв.

Запитання

1. Розкрити суть принципу комплексності?
2. Навести приклади комплексної переробки сировини в кольоровій металургії?
3. Розкрити суть комплексної переробки апатито-нефелінової породи?
4. Розкрити суть комплексної переробки нефелінового концентрату?
5. Розкрити суть комплексного використання природних сумішей органічних речовин?

Лекція 13

Принцип рекуперації промислових відходів

План

1. Сутність принципу рекуперації промислових відходів
2. Класифікація відходів
3. Поняття вторинних матеріальних ресурсів
4. Зростання виробництва і споживання сировини та утворення відходів

Сутність принципу рекуперації промислових відходів

По іншому цей принцип рекуперації відходів можна сформулювати як *комплексне використання вторинних ресурсів – матеріальних і енергетичних*.

Принципи замкнутості технологічних процесів і збалансованості за основними реагентами, закладені в основу маловідходного виробництва, дозволяють вирішити проблему відходів.

Як вже неодноразово зазначалося, головне в маловідходному і, тим більше, безвідходному або чистому виробництві – організація технологічних процесів з переробки сировини таким чином, щоб відходи не утворювалися в самому виробництві. Це і рециркуляція матеріальних потоків, що забезпечує багаторазове повне або часткове повернення їх в основний процес, і регенерація відпрацьованих продуктів, що передбачає повернення їм вихідних якостей (наприклад, сорбентів при очищенні газів).

У той же час є безліч діючих підприємств, які через застарілі технології не можуть бути переведені на безвідходні схеми виробництва. Тому розвиток виробництва ще тривалий час буде супроводжуватися виділенням значної кількості відходів, тобто актуальною залишається проблема утилізації відходів. На відміну від регенерації при утилізації відходів необов'язково залучення продуктів в даний виробничий процес. Утилізація передбачає або пряме використання відходів, або переробку їх з використанням отриманої продукції.

Класифікація відходів

Розрізняють *відходи виробництва* та *відходи споживання*.

До *відходів виробництва* належить частина з тих чи інших причин невикористаної сировини, побічні продукти, бракована продукція, осадки і шлами очисних споруд, що не утилізуються на даний період часу і потрапляють у довкілля. Однак у більшості випадків відходи можуть бути сировиною дня інших виробництв і галузей. Як зазначав Д. І. Менделєєв: «в хімії немає відходів, а є невикористана сировина». У зв'язку з цим академік Б. Н. Ласкорін запропонував сам термін «відходи» замінити на «продукцію незавершеного виробництва», чим, по суті, вони і є.

Побічні продукти утворюються при фізико-хімічних процесах переробки сировини поряд з основними продуктами, але не є метою виробничого процесу. Вони дуже часто можуть бути товарними, і використовуватися в якості готової продукції. Найчастіше це компоненти що містяться в сировині, які не використовуються у даному виробництві, або продукти, що утворюються в результаті хімічних перетворень. Наприклад, при переробці нефелінового концентрату – це рідкісні метали, що містяться в ньому (титан, ванадій, галій), а при кумольному методі отримання фенолу – ацетон і інші органічні сполуки.

Побічні продукти, які утворюються при видобутку або збагаченні основної сировини, прийнято називати *попутними продуктами* (наприклад, попутний газ при видобутку нафти).

Поняття вторинних матеріальних ресурсів

Сукупність відходів виробництва та споживання (зокрема, виробничого споживання), які можна використовувати як основний або допоміжний матеріал для випуску товарної продукції називається *вторинними матеріальними ресурсами* (ВМР). Їх можна розділити на *реальні і потенційні*.

До *реальних* відносяться ВМР, для використання яких вже існують ефективні методи і потужності з перероблення, забезпечений ринок збуту.

До *потенційних* – належать ресурси, які не увійшли в групу реальних, але які утворюються в достатніх для економічно ефективної переробки кількостях.

До категорії ВМР умовно можна віднести також побічні і попутні продукти, які в даний час використовуються недостатньо повно і

являють собою потенційний резерв матеріальних ресурсів для промисловості.

Зростання виробництва і споживання сировини та утворення відходів

Ідея багаторазового використання матеріальних ресурсів не тільки широко обговорюється в усьому світі, але і в більшості країн знайшла широке практичне застосування. Ми говорили раніше про кількості металів, які одержуються при комплексній переробці руд. Так, у західних країнах ступінь повторного використання свинцю становить не менше 65 %, заліза – 60, міді, нікелю – 40, алюмінію – 33, цинку – 32 та ін. У нашій країні ці цифри значно скромніші. За рахунок використання вторинної сировини виробляється 30 % сталі і 20 % кольорових металів. Необхідно також зазначити, що енергоємність виробництва алюмінію з вторинної сировини в 20 разів, а сталі в 10 разів нижча, ніж енергоємність їх виробництва з первинної сировини.

Повторне використання матеріальних ресурсів має винятково велике значення з точки зору збереження і продовження часу експлуатації найважливіших світових запасів руд і джерел енергії (нафти і газу), так званих вичерпних ресурсів. Тобто відходи є найважливішими сировинними резервами.

В ідеалі – цілеспрямоване підвищення ролі вторинних ресурсів полягає в організації локального, регіонального, а потім і глобального (в масштабах держави) техногенного кругообігу речовин, у якому первинна сировина буде витрачатися тільки на заповнення втрат і розширення обсягів виробництва. В кінцевому підсумку основною для промислового виробництва має стати вторинна сировина.

Таким чином, з екологічного погляду промислове використання відходів у якості ВМР має подвійне значення: по-перше, очищення біосфери від забруднень, по-друге, економія обмежених природних ресурсів.

Запитання

1. Розкрити сутність принципу рекуперації промислових відходів?
2. Як класифікують відходи?
3. Поняття вторинних матеріальних ресурсів?

4. Охарактеризувати зростання виробництва і споживання сировини та утворення відходів?

Лекція 14

Вибір методу використання і переробки відходів. Комбінування виробництв

План

1. Вибір методу використання та переробки відходів
2. Комбінування виробництв

Вибір методу використання та переробки відходів

У даному випадку виникає ряд основних питань: 1) у який продукт або сировину і яким способом необхідно перетворювати відходи? 2) де здійснювати і куди направляти продукти цієї переробки?

При відповіді на перше запитання необхідно дотримуватися *принципу раціональної організації виробництва*. Одним із прикладів є утилізація піритних огарків – відходів виробництва сірчаної кислоти. У даний час піритні огарки використовуються у виробництві цементу. Проте при цьому їх найцінніші компоненти, такі як мідь, срібло і золото, не вилучаються, а оксиди заліза використовуються менш ефективно. У той же час розроблена й випробувана економічно вигідна технологія їх переробки, що дозволяє отримувати мідь, благородні метали і використовувати залізо за його прямим призначенням. Виділення цінних компонентів із піритних огарків буде більш раціональним у порівнянні з їх включенням у виробництво цементу, хоч в обох випадках реалізується безвідходна технологія.

Багато відходів можна використати в інших виробництвах замість природної сировини, а також для розширення сировинної бази хімічної промисловості. Наприклад, використання відхідного сірчистого газу підприємств кольорової металургії, ТЕС дозволяє отримувати сірчану кислоту або сульфат натрію, а зазвичай з цією метою використовують SO_2 , одержуваний спалюванням сірки або випалюванням сірчаного колчедану або піриту. Виробництво сірчаної кислоти при впровадженні технології поглинання SO_2 з викидних

газів не тільки стає маловідходним, а й дає додаткове джерело сировини.

Безвідходна технологія передбачає утилізацію не лише відходів виробництва, але і відходів споживання, тобто створення циклу: сировинні ресурси – виробництво – споживання – вторинні сировинні ресурси.

Наприклад, регенерація 1 т мастильних масел дозволяє заощадити 6 т нафти. Витрати на регенерацію 1 т масла становлять лише близько половини витрат на виробництво масла з нафти. З 1 млн. т зношених шин можна отримати для повторного використання 700 тис. т гуми, 130–150 тис. т текстилю та волокон, 30–40 тис. т сталі.

Таким чином, при відповіді на друге питання – де здійснювати і куди направляти відходи та продукти їх переробки виникає проблема комбінування виробництв.

Комбінування виробництв

Комбінування і міжгалузеве кооперування, наприклад, в рамках територіально-виробничих комплексів (ТВК) забезпечує сприятливі умови для використання одними підприємствами відходів інших.

Створення ТВК пов'язане з концентрацією певних видів промисловості в конкретних природних районах з використанням ключових природних ресурсів для отримання основних видів товарної продукції, створенням інфраструктури для забезпечення випуску цієї продукції, охороною навколишнього середовища та раціональним використанням природних ресурсів.

Таким чином, у рамках ТВК здійснюється оптимальна взаємодія промислового виробництва, яке розвивається, і навколишнього середовища.

Особлива роль в системі замикаючих зв'язків в сучасному господарстві відводиться промисловості будівельних матеріалів, яка може досить ефективно використовувати практично всі великотоннажні відходи.

Запитання

1. Навести основні аспекти вибору методу використання та переробки відходів?
2. У чому полягає комбінування виробництв?

Лекція 15

Приклади комплексної утилізації відходів різних виробництв

План

1. Відходи гірничорудної промисловості
2. Відходи виробництва екстракційної фосфорної кислоти
3. Відходи переробки сланців
4. Відходи целюлозно-паперових підприємств

Відходи гірничорудної промисловості

При розробці родовищ корисних копалин великі обсяги розкритих порід направляються у відвали, які займають значні площі найчастіше цінних земель, забруднюють водойми, атмосферу, руйнують ландшафт та ін. Тільки на підприємствах кольорової металургії у відвалах накопичилися мільярди тонн порід. У той же час відвали гірських виробництв – дешева і цінна сировина, використання якої не потребує необхідності розробки нових кар'єрів з видобутку ряду будівельних матеріалів (щебеню, піску, глини та ін.). Ще більш цінними є відвали збагачувальних підприємств ряду галузей промисловості, що містять гаму цінних компонентів. Так, на збагачувальних фабриках кольорової металургії з відвальними хвостами втрачається все залізо, що міститься в руді, а також значні кількості сірки, оксидних сполук металів, ряд рідкісних і розсіяних елементів.

У даний час обидва ці види відходів (відвали розкриття і хвости збагачення) використовують мало. Між тим проведені дослідження і досвід роботи ряду промислових виробництв показують, що ці відходи можуть бути сировиною для виробництва пористих заповнень бетонів, будівельної цегли і кераміки, штукатурних розчинів, щебеню та інших матеріалів, що користуються великим попитом, в першу чергу, в будівництві.

Відходи виробництва екстракційної фосфорної кислоти

Вловлювання фтористих сполук з газоподібних викидів водою або лужними розчинами дозволяє отримувати проміжні продукти, придатні для подальшої переробки. Ці відходи перетворилися на основне джерело для отримання дефіцитних фторовмісних продуктів.

У якості твердого відходу даного виробництва утворюється фосфогіпс – сульфат кальцію з домішками фосфатів. У перерахунку на суху речовину він містить до 94 % CaSO_4 . Основними домішками є непрореаговані фосфати, рідкісноземельні елементи, у тому числі, сполуки фтору і стронцію, не відмита фосфорна кислота, органічні сполуки та ін.

Транспортування фосфогіпсу у відвали і його зберігання пов'язано з великими капітальними і експлуатаційними витратами, що досягають 40% вартості спорудження та експлуатації основного виробництва. У даний час у відвалах знаходяться такі великі кількості цих відходів, що необхідно терміново їх використовувати. У ряді країн (Австрія, Німеччина, Польща) вже здійснений в промисловому масштабі процес переробки фосфогіпсу. У нашій країні також приділяється значна увага цій проблемі.

Розглянемо деякі перспективні шляхи використання фосфогіпсу:

1. У якості фосфоро- і сірковмісних мінеральних добрив. Проте використання такого низько концентрованого добрива (22,1 % сірки і 0,5 % фосфорної кислоти) економічно виправдане тільки на порівняно невеликих відстанях від заводів, що не перевищують 500 км.

2. У цементному виробництві у якості мінералізатора при випалюванні і добавці до цементного клінкеру.

3. Для хімічної меліорації солонцевих ґрунтів.

4. Для отримання різних сполук: сульфату амонію, сірчаної кислоти, сірки з попутним утворенням цементу, гіпсових в'язучих матеріалів.

Застосування фосфогіпсу у виробництві цементу не лише дозволяє утилізувати ці відходи, а й зменшує витрату палива, підвищує продуктивність печей і якість цементного клінкеру, подовжує термін служби футерування печей.

Відходи переробки сланців

Розроблена в останні роки технологія термічної переробки сланців Поволжя дозволяє отримати поряд з цільовим продуктом – висококалорійним газом, цілий ряд найцінніших продуктів і відходів виробництва.

Уваги заслуговує легка фракція сланцевої смоли з температурою кипіння до 175°C , яка є сировинним джерелом для одержання ряду

промислових вуглеводневих розчинників, добавок до моторного палива, хімічних органічних реагентів і цінної гетероциклічної сировини (тіофену (C_4H_4S), метил- та диметилтіофенів), що використовується в органічному синтезі, виготовленні різних лікарських засобів, ветеринарних препаратів та ін.

Кубові залишки після виділення зазначених сполук можуть бути утилізовані в складі композицій для дорожніх покриттів, просочення шпал.

Особливо необхідно відмітити можливість отримання тіофену, що використовується для приготування дефіцитних фармакологічних препаратів (раніше продукти тіофенового ряду отримували з продуктів коксування донецького вугілля).

Відходи целюлозно-паперових підприємств

При роботі целюлозно-паперових підприємств (ЦПП) утворюються волокнисті відходи різних фракцій і складу, зокрема дрібно- та грубоволокнисті відходи. Грубоволокнисті відходи, до яких належать не кондиційована деревна маса і деревне волокно (сплутані, злиплі волокна), не можна використовувати в паперовому виробництві. Такі відходи частково утилізують при виготовленні деревно-волокнистих плит (ДВП).

Дрібноволокнисті відходи, головним чином короткі волокна целюлози, не затримуються на сітках папероробних машин і зі стічними водами надходять на очисні споруди ЦПП. Після вилучення з стічних вод вологі дрібноволокнисті відходи у вигляді так званого скопу потрапляють в шламонакопичувачі. Наприклад, Братський лісопромисловий комплекс (знаходиться у Російській федерації) щодоби розміщує на шламонакопичувачах близько 90 т скопу в розрахунку на суху речовину. Тому доречним є спосіб отримання з цих відходів цінного фільтрувального матеріалу широкого асортименту.

Запитання

1. Навести приклади відходів гірничорудної промисловості та перспективи їх використання?

2. Навести приклади відходів виробництва екстракційної фосфорної кислоти та перспективи їх використання?

3. Навести приклади відходів переробки сланців та перспективи їх використання?

4. Навести приклади відходів целюлозно-паперових підприємств та перспективи їх використання?

Лекція 16

Вторинні енергетичні ресурси

План

1. Поняття вторинних енергетичних ресурсів
2. Класифікація ВЕР за видами енергії
3. Основні напрямки використання ВЕР
4. Утилізаційні установки

Поняття вторинних енергетичних ресурсів

Крім матеріальних, вторинними ресурсами можуть бути і енергетичні – ВЕР. У найзагальнішому сенсі ВЕР називається *напрацьоване тепло, одержуване після енергетичного обслуговування виробничих, побутових та інших процесів.*

Більш повне визначення ВЕР дає А. М. Кутеллов: *«ВЕР називається енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах, який не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергозабезпечення інших агрегатів».*

Одним із важливих завдань розробки безвідходних технологій є по можливості повне виявлення резервів ВЕР і економічно, а також екологічно обґрунтоване їх використання для цілей виробництва і задоволення побутових потреб.

ВЕР можуть бути використані безпосередньо як паливо, а також перетворюються в інші енергоносії за допомогою утилізаційних установок.

Залежно від виду та параметрів енергоносіїв, що витрачаються на енергетичне обслуговування тих чи інших процесів, вторинними енергоресурсами можуть бути різні теплоносії, якісні параметри яких визначаються обслуговуваними процесами.

Так, ВЕР виробництва аміаку, найбільш енергоємного в хімічній промисловості, є рідкі вуглеводні, продувні газы, фізична теплота

димових газів трубчастих печей і вогневих підігрівачів природного газу, фізична теплота конвертованих газів.

Класифікація ВЕР за видами енергії

За видами енергії ВЕР поділяють на три групи:

1) *горючі (паливні) ВЕР* – хімічна енергія відходів технологічних процесів хімічної і термохімічної переробки вуглецевої або вуглеводневої сировини, побічних горючих газів плавильних печей (доменних, колошникових, шахтних печей і вагранок, конверторних та ін.), кори та деревних відходів у целюлозно-паперовій промисловості тощо;

2) *теплові ВЕР* – фізична теплота відхідних газів технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів основного виробництва, робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних і силових установках; в хімічній промисловості ВЕР переважно засновані на теплоті екзотермічних реакцій;

3) *ВЕР надлишкового тиску* – потенціальна енергія газів і рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском.

Основні напрямки використання ВЕР

Напрямок перетворення ВЕР залежить від трьох чинників: кількості вторинної енергії, що утворюється за одиницю часу; ступеня безперервності її отримання; температурного рівня.

Залежно від видів і параметрів робочих тіл розрізняють чотири основних напрямки використання ВЕР:

1) *паливне* – безпосереднє використання горючих компонентів в якості палива;

2) *теплове* – використання теплоти, одержуваної безпосередньо в якості ВЕР, або теплоти і холоду, що виробляється за рахунок ВЕР в утилізаційних установках, а також в абсорбційних холодильних установках;

3) *силове* – використання механічної або електричної енергії, енергетичних ресурсів;

4) *комбіноване* – використання теплоти, електричної або механічної енергії, які виробляються одночасно за рахунок вторинних енергетичних ресурсів.

Теплові ВЕР залежно від температури поділяють на *високо-* і *низькопотенційні*. *Високопотенційні ВЕР* (з температурою вище 120° С) використовують для вироблення пари в котлах утилізаторах.

Низькопотенційні теплові ВЕР (з температурою вище 50–120° С) використовують в основному для роботи енергетичних установок (підігрів води для котельних установок). Основні труднощі їх використання – великі капітальні витрати через малу рушійну силу для подачі тепла і забруднення домішками. Ефективним є використання низькопотенційних теплових ВЕР для отримання штучного холоду в абсорбційних холодильних машинах.

Утилізаційні установки

Обладнанням для використання теплових ВЕР, а також ВЕР надлишкового тиску є котли-утилізатори, водяні економайзери, установки сухого гасіння коксу, газові турбіни, абсорбційні і пароежекторні холодильні машини та ін.

Котли-утилізатори забезпечують економію палива шляхом генерування енергетичної або технологічної пари, а також нагріву води за рахунок використання вторинної теплоти.

У хімічній промисловості використовують парові котли-утилізатори, які поділяють на такі типи:

а) газотрунні для установок малої потужності з тиском 1,4 МПа, які працюють при температурах відхідних газів 850–1200° С;

б) конвективні зі звичайною та примусовою циркуляцією, розраховані на виробництво під тиском 1,8 і 4,5 МПа при температурі нагрівного газу 850–1200° С;

в) радіаційно-конвективні зі звичайною циркуляцією, які працюють на відхідних газах при температурі до 1600° С і розраховані на отримання пари тиском 1,4 і 4,0 МПа.

Запитання

1. Розкрити сутність поняття вторинних енергетичних ресурсів?
2. Навести класифікацію ВЕР за видами енергії?
3. Охарактеризувати основні напрямки використання ВЕР?
4. Дати характеристику утилізаційних установок?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апостолюк С.О. Промислова екологія : навч. пос. – 2-ге вид. / С.О. Апостолюк, В.С. Джигирей, І.А. Соколовський та ін. – К., 2012. – 430 с.
2. Бедрій Я. І. Промислова екологія : навч. пос. / Я. І. Бедрій, Б. О. Білінський, Р.М. Івах та ін. – К. : КОНДОР, 2010. – 374 с.
3. Громов Б. В. Безотходное производство. Основные принципы безотходных производств / Б. В. Громов и др. – М., 1981. – 178 с.
4. Ласкорин Б. Н. Безотходная технология в промышленности / Б. Н. Ласкорин. – М. : Стройиздат, 1986.– 160 с.
5. Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов // Химия и жизнь. – 1980. – №4. – С. 25–28.
6. Соколов Р. С. Химическая технология. В 2-т. – М. : Высш. шк., 2000.
7. Основы химической технологии / Под ред. И. П. Мухленова. – М. : Высшая школа, 1991. – 463 с.
8. Кутепов А. М. Общая химическая технология / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Безенгартен – М. : Высш. шк., 1990, – 520 с.
9. Основные процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. – М. : Химия, 1991. – 496 с.
10. Цыганков А. С. Циклические процессы в химической технологии. Основы безотходных производств / А. С. Цыганков, В. Н. Сенин. – М. : Химия, 1988. – 319 с.
11. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств / В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1982. – 288 с.
12. Комплексное использование сырья и отходов / Б. М. Равич, В. П. Окладников, В.Н, Лыгач и др. – М. : Химия, 1988. – 260 с.
13. Белов П. С. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа / П. С. Белов, И. А. Голубева, С. А. Низова. – М. : Химия, 1991. – 256 с.
14. Зайцев В.А. Безотходные и малоотходные процессы сегодня и завтра // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Химия. – М. : Знание, 1987. – № 3. – С. 20–32.
15. Безотходное промышленное производство. Основные принципы безотходных производств / Б. В. Громов, В. А. Зайцев,

Б. И. Ласкорин и др. // Итоги науки и техники. Сер. Охрана природы и воспроизведение ресурсов. – М. : ВИНТИ, 1981. – С. 195–217.

16. Алферова Л. А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / Л. А. Алферова, А. П. Нечаев – М. : Стройиздат, 1984. – 272 с.

17. Шульц А. А. Элементы безотходной технологии в металлургии. – М. : Металлургия, 1991. – 115 с.

18. Харлампович Г. Д. Безотходные технологические процессы в химической промышленности. – 1984. – 232 с.

19. Использование промышленных отходов / С. В. Дуденков, В. А. Зайцев, Г. Л. Текелис и др. // Итоги науки и техники. – М. : ВИНТИ, 1983. – № 12. – С. 170–199.

20. Ласкорин Б.Н. Безотходная технология переработки минерального сырья: Системный анализ / Б. Н. Ласкорин, Л. А. Барский, В. З. Персии. – М. : Недра, 1984. – 334 с.

21. Быстров Г.А. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс / Г. А. Быстров – Л. : Химия, 1982. – 264 с.

22. Степанов В. С. Химическая энергия и эксергия веществ / Степанов В. С. – Новосибирск : Наука, 1990. – 162 с.

23. Сажин Б. С. Эксергетический метод в химической технологии / Б. С. Сажин, А. П. Булеков – М. : Химия, 1992. – 204 с.

24. Оранова Т. И. Основы разработки безотходных и малоотходных технологий. Курс лекций / Т. И. Оранова – Нальчик : КБГУ, 2004. – 56 с.

25. Промислова екологія [Електронний ресурс] : Спільнота фахівців-екологів – Режим доступу : <http://есо.com.ua/>

26. Спасибожко В. В. Основы безотходной технологии : учебное пособие / В. В. Спасибожко. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2000. – 132 с.

27. Сутягин В. М. Принципы разработки малоотходных и безотходных технологий : учебное пособие / В. М. Сутягин, В. Г. Бондалетов, О. С. Кукурина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 184 с.

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Навчально-методичне видання

Караїм Ольга Анатоліївна

Техноекологічні основи безвідходних виробництв

Конспект лекцій

Друкується в авторській редакції

Формат 60x84 1/8. Обсяг 5,35 ум. друк. арк., 5,28 обл.-вид. арк.
Наклад 100 пр. Зам. 550. Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк
(м. Луцьк, вул. Бойка, 1, тел. (0332) 29-90-65).

Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.