

### **Класифікація технологічних процесів**

Технологічні процеси класифікують за певними ознаками: властивостями вихідних матеріалів, які змінюються в процесі їхньої переробки; способам організації процесу; кратності обробки вихідних матеріалів; напрямком руху теплових і матеріальних потоків; агрегатним станом вихідних матеріалів; тепловим ефектом; факторами виробництва і т.п. Таке групування технологічних процесів дає можливість виявити їхні характерні риси, загальні закономірності, переваги і недоліки, а також шляхи удосконалення.

**За властивостями вихідних матеріалів**, які змінюються в процесі їхньої переробки, всі технологічні процеси поділяють на **фізичні, механічні та хімічні**.

#### **Фізичні та механічні процеси**

При фізико-механічних процесах змінюються лише форма і фізичні властивості вихідних матеріалів. На цих процесах ґрунтується видобувна галузь промисловості (за винятком деяких способів геотехнології - добування корисних копалин), деревообробна промисловість, обробка конструкційних матеріалів литтям, тиском, різанням і т.п. Ці процеси лежать в основі підготовки сировини до переробки, а також поділу отриманої продукції. До фізико-механічних процесів належать подрібнення, тепло- і масоперенос.

**Теплопереносом (теплообміном)** називають перенесення теплоти від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. Теплота переноситься за допомогою теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання. При проведенні технологічних процесів вихідні матеріали нагрівають водяною парою, пічними газами, теплоносіями і електричним струмом або охолоджують.

**Масоперенесенням (масообміном)** називають перехід речовини з однієї фази в іншу. Найчастіше масообмін відбувається між фазами: газовими або паровими і рідкими, газовими та твердими, твердою та рідкою, а також між двома рідкими фазами. Перенесення маси з однієї фази в іншу відбувається за рахунок різниці концентрацій речовин в цих фазах. Процес перенесення триватиме до тих пір, поки не встановиться рівновага на границі фаз. Кількість речовини, яка переходить з однієї фази в іншу, залежить від поверхні розділу фаз, різниці концентрацій і тривалості процесу. Підвищити ефективність масоперенесення можна збільшенням поверхонь контактуючих фаз, швидкості потоку і т.п.

До масообмінних процесів належать абсорбція, адсорбція, дистиляція і ректифікація, кристалізація, висушування і мембранізація.

**Абсорбцією** (від лат. Absorptio - поглинання) називають поглинання газів або парів всім обсягом речовини. Наприклад, хлороводень (газ) поглинається водою (рідина) з утворенням соляної кислоти. Абсорбції властива вибірковість (селективність), тобто кожна газова або парова

речовина поглинається певною рідиною. Поглинання може бути простим, яке називають розчиненням, і складним, в разі якого відбуваються хімічні реакції. Останнє називають хемосорбцією. Прикладом простої абсорбції є виробництво соляної кислоти. Хемосорбція має місце в процесі виробництва сірчаної та азотної кислот ( ; ), мінеральних добрив і т.п.

**Адсорбцією** (від лат. ad - до, в, при і sorbeo – поглинаю) називають процес поглинання одного або декількох компонентів, які знаходяться в газовій або рідкій фазі, поверхнею твердих речовин.

Тверду речовину, що поглинає гази або рідини, називають адсорбентом. Механізм поглинання ґрунтується на теорії заповнення мікропор. Роль адсорбентів виконують високопористі тверді речовини, такі як активоване вугілля, силікагель, алюмогелі, іонообмінні смоли і т.п. В технології адсорбцію використовують для очищення і висушування рідин, газів, розділення сумішей різних рідких і газових речовин, виділення летких розчинників, освітлення розчинів, очищення води і т.п. Адсорбцію використовують в харчовій, хімічній, нафтовій, лакофарбовій та інших промисловостях.

**Дистиляція і ректифікація** належать до масообмінних процесів, в яких рідка однорідна суміш розділяється на окремі компоненти по температурі їхнього кипіння.

**Дистиляцією** (від лат. distillatio - стікання краплями) називають поділ сумішей рідин на компоненти частковим випаровуванням і наступною конденсацією утвореного пару.

Якщо суміш рідин, які мають різну температуру кипіння, нагріти до певної температури для часткового випаровування, а отриманий пар конденсувати, то отриманий конденсат матиме високий вміст низькокиплячого конденсату, а залишок збагатиться висококиплячим. Дистиляцією не можна отримати чисті речовини. Вони завжди будуть забруднені. Для отримання чистих речовин рідину багаторазово випаровують і отримані пари конденсують. Такий спосіб поділу рідин називають **ректифікацією**. Ректифікацію проводять в апаратах безперервної дії, які називають тарілковими ректифікаційними колонами. Дистиляція і ректифікація широко використовуються в нафтопереробній, фармацевтичній, спиртовій та інших промисловостях.

**Кристалізацією** називають виділення твердої фази у вигляді кристалів з розчинів або розплавів.

Кристалізація починається з утворення центрів кристалізації, зародження яких залежить від температури, концентрації розчинів, швидкості перемішування і т.п. Чим більше зародиться центрів кристалізації, тим дрібнішими будуть кристаліти, і навпаки. Великі кристаліти отримують в разі повільного їхнього росту без перемішування розчину або розплаву. При таких умовах кристалізації продуктивність апаратів (кристалізаторів) невелика. Для підвищення продуктивності широко використовують кристалізацію з охолодженням, вакуум-кристалізацію та ін. Кристалізатори

працюють періодично і безперервно. Кристалізатори безперервної дії більш продуктивні, ніж періодичної.

Кристалізація лежить в основі виробництва мінеральних добрив, металів і сплавів, нанесення на поверхні виробів металевих покриттів, отримання виливків і т.п. Кристалізацію використовують в харчовій, хімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

**Висушуванням** називають процес вилучення вологи з різних за агрегатним станом речовин.

Висушують газ, рідкі та тверді речовини. Вологу вилучають випарюванням, сублімацією, виморожуванням, адсорбцією і т.п. Найпоширенішим з цих способів є випарювання, при якому речовини нагрівають і волога випаровується. При випаровуванні витрачається велика кількість теплової енергії. Більш економічним способом є фільтрування та сушка в центрифугі. Кінцеве вилучення вологи проводять висушуванням. Висушування виконують в сушарках безперервної (тунельні, пневматичні, з псевдокиплячим шаром та ін.) і періодичної (шафа, камерні печі тощо) дії. Найчастіше застосовують сушарки, які працюють за принципом псевдокиплячого шару. Для підвищення якості висушуваних матеріалів і поліпшення техніко-економічних показників використовують вакуум, ультразвук, струми високої частоти та інші допоміжні фактори. Швидкість висушування визначається кількістю вологи, яка випаровується з одиниці поверхні матеріалу, що висушується за одиницю часу. Швидкість висушування залежить від природи матеріалу, що висушується, розміру його шматків, вмісту вологи в ньому, температури, тиску і т.п.

Висушування застосовують в процесі виробництва цукру, будівельних матеріалів (цегли, цементу та ін.), мінеральних добрив та іншої продукції.

**Мембранізацію** проводять для розділення сумішей (газових або рідких) на складові або вилучення з них окремих складових. Для цього використовують мембрани (від лат. membrana - оболонка, перетинка), здатні пропускати одну або кілька складових суміші, а для інших прохід закритий. Масоперенесення залежить від селективності мембрани і розміру пор в ній, а також від дії зовнішніх чинників: електричне і магнітне поле, ультразвук та інші коливання. Немає універсальних мембран. Кожен компонент з суміші вилучається за допомогою певної мембрани. За допомогою мембран очищають питну воду, опріснюють морську, поділяють повітря на окремі складові: водень, кисень, гелій і т.п. Мембрани використовують в мікробіології та медицині. У харчовій промисловості за допомогою мембран отримують високоякісний цукор, переробляють молоко з метою вилучення основних молочних продуктів і т.п. У хімічній промисловості мембрани використовують для виробництва хлору, їдкою натрію і водню з водного розчину хлориду натрію і т.п. Перспективним і ефективним є використання мембран для очищення газових викидів підприємств хімічної та інших галузей промисловості і атомних електростанцій від шкідливих речовин.

## Хімічні процеси

При хімічних процесах змінюється хімічний склад і внутрішня будова вихідних матеріалів. Ці зміни відбуваються внаслідок хімічних реакцій, які протікають між складовими вихідних матеріалів. Внаслідок хімічних реакцій утворюються основна і побічна продукція, а також відходи виробництва. Утворення побічної продукції та відходів виробництва обумовлено наявністю у вихідних матеріалах домішок. Наприклад, в процесі виробництва чавуну відбуваються хімічні реакції між залізом і іншими хімічними елементами, які знаходяться у вихідних матеріалах, з одного боку, і оксидом вуглецю CO, воднем  $H_2$  і розжареним коксом C – з іншого. Внаслідок цих реакцій утворюються чавун, шлак і доменний газ. Хімічні процеси лежать в основі виробництва металів (чавуну, сталі, міді, алюмінію і т.п.), будівельних матеріалів (вапна, цементу і т.п.), хімічної продукції (аміаку, кислот і т.п.), нових видів сировини, палива, конструкційних матеріалів тощо.

Оцінюючи швидкість взаємодії речовин, що реагують враховують лише хімічні реакції, які впливають на якість і кількість основної продукції. Хімічні реакції бувають оборотні та необоротні. Необоротні реакції на відміну від оборотних відбуваються лише в одному напрямку. Всі оборотні реакції прагнуть до рівноваги. При рівновазі швидкість прямої реакції дорівнює швидкості зворотної, а співвідношення між компонентами будуть незмінні до тих пір, поки не зміняться зовнішні фактори: температура, тиск, концентрація компонентів. У разі зміни одного з факторів порушується рівновага і між речовинами які реагують відновлюються хімічні реакції, які тривають до тих пір, поки не настане рівновага в нових умовах. Напрямок змін в системі, викликаних зміною зовнішніх дій, визначається принципом Ле-Шательє. Згідно з цим принципом в системі, яку зовнішні впливи вивели зі стану рівноваги, відбуваються зміни, спрямовані на повернення системи до стану рівноваги. Принцип Ле-Шательє дає можливість якісно оцінити доцільність застосування зовнішнього впливу для зсуву рівноваги в напрямку збільшення виходу основної продукції і поліпшення використання сировини. Для прикладу розглянемо оборотну реакцію, яка лежить в основі виробництва аміаку:

Ця реакція гомогенна і протікає з виділенням теплоти. Згідно з принципом Ле-Шательє, щоб змістити рівновагу вправо, тобто в напрямку виходу аміаку, треба виконати такі дії: знизити температуру (відвести теплоту), оскільки процес екзотермічний; підвищити тиск, оскільки процес в газовому середовищі відбувається зі зменшенням обсягу (з чотирьох молекул азотоводневої суміші утворюється дві молекули аміаку); зменшити концентрацію аміаку (безперервно виводити аміак із зони реакції); підвищити концентрацію вихідних матеріалів (азоту і водню), оскільки підвищення концентрації одного з них збільшує ступінь перетворення іншого. Отже, щоб змістити рівновагу вправо, треба піднімати або відводити

теплоту, змінювати тиск, збільшувати концентрацію речовин що реагують, відводити із зони реакції утворену продукцію.

Поділ технологічних процесів на фізичні, механічні та хімічні умовний, оскільки не можна провести між ними чіткої межі. Але, такий розділ існує, оскільки полегшує вибір найефективнішого способу переробки сировини. Вибір способу залежить від багатьох причин: доступності сировини, виду енергії, необхідної для проведення процесу, ступеня складності устаткування, витрат на виробничі приміщення і обладнання, а також якості і собівартості готової продукції.

За способом організації технологічні процеси розділяють на періодичні (рис. 1.а), безперервні (рис. 1.б) і комбіновані (рис. 1.в-д).

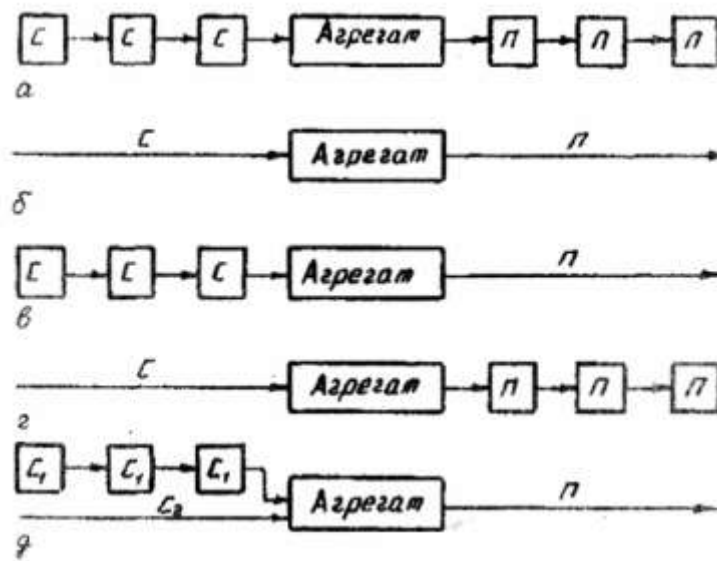


Рис. 1. Схеми процесів: а – періодичних, б – безперервних, в-д – комбінованих.

### Періодичні процеси

У періодичних процесах сировину  $C$  подають в агрегат певними порціями через певні проміжки часу і так само після закінчення обробки виводять з агрегату отриману продукцію  $P$  (рис. 1.а).

Періодичні процеси характеризуються простоюванням агрегатів під час завантаження сировиною та розвантаження отриманої продукції. Це призводить до втрат робочого часу і великих витрат праці. Крім того, нестабільність технологічного режиму на початку і в кінці процесу ускладнює обслуговування агрегату, ускладнює автоматизацію і т.п. Тому продуктивність періодичних процесів низька, наприклад, виробництво коксу в коксових батареях, виготовлення виливків у формах, заготовок в штампах та ін.

### Безперервні процеси

При безперервних процесах сировина  $C$  надходить в агрегат постійним безперервним потоком і після перетворення запланована продукція  $P$

безперервним потоком виходить з агрегату (рис. 1.б). Так триває аж до ремонту агрегату.

Наприклад, розливання сталі на машинах безперервного лиття заготовок, виробництво цементу. Безперервні процеси в порівнянні з періодичними мають такі переваги: відсутність простоювання агрегатів на завантаження сировини і розвантаження готової продукції, висока продуктивність, можливість впровадження автоматизації, яка поліпшить якість продукції, і т.п. Саме тому головною тенденцією виробництва є заміна періодичних процесів на безперервні.

### **Комбіновані процеси**

Комбіновані процеси – це об'єднання періодичних і безперервних процесів. Можна періодично подавати сировину  $C$  до агрегату і безперервно виводити з нього продукцію  $P$  (рис. 1.в) або навпаки безперервно подавати в агрегат сировину  $C$ , а періодично виводити отриману продукцію  $P$  (рис. 1.г). Можливий і такий варіант: періодична подача до агрегату одного зі складових сировини  $C_1$  і безперервна – другого  $C_2$ . Отримана продукція  $P$  виходить з агрегату безперервно (рис. 1.д).

**За кратністю обробки сировини** технологічні процеси поділяють на процеси з **відкритою, закритою і комбінованою схемами**.

Якщо технологічний процес відбувається за **відкритою схемою**, сировина перетворюється в готову продукцію протягом одного циклу перебування її в агрегаті (рис. 2.в). Наприклад, виробництво сталі в конверторі.

Якщо сировину або окремі її складові неодноразово повертають до агрегату для повторної обробки, а іноді після регенерації (відновлення втрачених властивостей), то має місце технологічний процес **із закритою (циркуляційною) схемою** (рис. 2.б). Прикладом процесу із закритою схемою може бути виробництво поліетилену високого тиску, під час якого лише 20% етилену перетворюється в поліетилен, залишок після очищення знову повертається в реактор. Другим прикладом процесу із закритою схемою може бути каталітичний крекінг нафтопродуктів: для відновлення активності каталізатор постійно циркулює між реактором і регенератором, в якому його поверхня очищається від вуглецю.

У порівнянні з відкритою схемою закрита компактніша, менші витрати електричної енергії, води, менші витрати сировини. Отримана продукція має вищу якість. Закриті схеми є основою створення безвідходних, енерго- і ресурсозберігальних технологій.

У технологічних процесах, які здійснюються за **комбінованими (змішаними) схемами** сировина може перетворюватися в продукцію за один цикл перебування в агрегаті, а допоміжні матеріали використовуються багаторазово (рис.2.в). Наприклад, виробництво сірчаної кислоти азотним способом: оксиди сірки обробляються за відкритою схемою, проходячи ряд послідовних апаратів, а оксиди азоту циркулюють по закритій схемі.

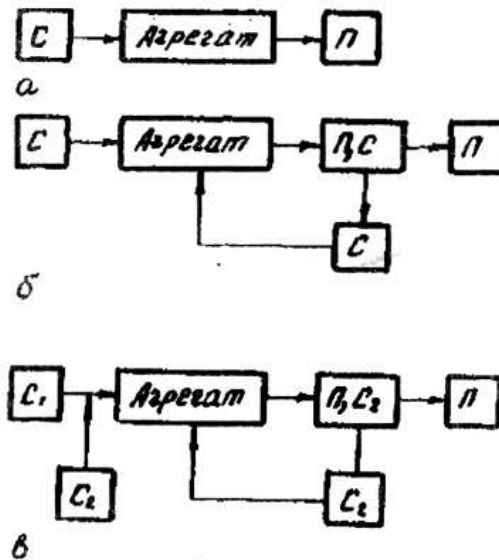


Рис.2. Схеми технологічних процесів: а – відкриті, б – закриті, в – комбіновані.

За напрямком руху теплових ТП і матеріальних МП потоків в агрегатах технологічні процеси поділяють на **односторонні** (рис.3.а), **зустрічні** (рис.3.б), **перехресні** (рис.3.в) і **змішані**.

#### **Односторонні процеси**

Односторонніми називають процеси, при яких матеріальні і теплові потоки в агрегатах рухаються паралельно в одному напрямку (рис.3.а).

Якщо між потоками поставити перегородку, то цей процес можна використовувати для теплообміну: коли більш нагрітий потік буде віддавати теплоту менш нагрітому. Відбувається перерозподіл теплоти. При відсутності перегородки такий напрямок потоків можна використовувати для висушування матеріалів, змішування газів, рідин і т.п.

#### **Зустрічні процеси**

Зустрічними називають процеси, при яких матеріальні і теплові потоки рухаються назустріч один одному (рис.3.б). Зустрічні процеси ефективніші для обміну теплотою, ніж односторонні. Крім того, розмір теплообмінника зменшується, що призводить до економії конструкційних матеріалів. Зустрічні процеси вигідніші також тому, що забезпечують велику швидкість реакції з повнішою взаємодією речовин які реагують. Прикладом використання цих процесів є виробництво кислот, мінеральних добрив і т.п.

#### **Перехресні процеси**

Перехресними називають процеси, коли матеріальні і теплові потоки рухаються перпендикулярно один до одного (рис.3.в). Ці процеси лежать в основі роботи печей з псевдокиплячим шаром і широко використовуються в процесі випалювання сірчистих мінералів (виробництво сірчаної кислоти), мідного концентрату (виробництво міді), грудок залізної руди (бездоменне виробництво сталі), вапняку (виробництво вапна) і т.п.

### Змішані процеси

В даному випадку один з потоків рухається в одному напрямку, а другий - в іншому.

Перехресні та змішані потоки широко застосовують для інтенсифікації теплових процесів, пов'язаних з нагріванням, охолодженням, випаровуванням речовин і конденсацією пари.

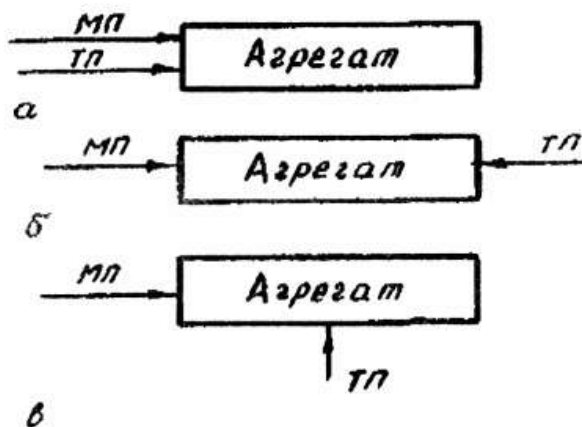


Рис.3. Схеми руху матеріальних МП і теплових ТП потоків в агрегатах: а – односторонні, б – зустрічні, в – перехресні.

За агрегатним станом реагентів технологічні процеси поділяють на гомогенні і гетерогенні.

#### Гомогенні процеси

Гомогенними називають такі процеси, коли всі речовини що реагують (сировина) знаходяться лише в одному агрегатному стані: твердому, рідкому або газовому. Наприклад, окиснення діоксиду сірки: речовини які реагують, діоксид сірки і кисень знаходяться в газовому  $G$  стані:

#### Гетерогенні процеси

Гетерогенними називають такі процеси, коли всі речовини що реагують знаходяться в різних агрегатних станах: газовому і рідкому; твердому і газовому; газовому, твердому та рідкому і т.п. Наприклад, виробництво сірчаної кислоти. Речовини що реагують перебувають у газовому  $G$  і рідкому  $P$  станах:

Проте, слід пам'ятати, що при гомогенних процесах швидкість реакції більша, ніж при гетерогенних, оскільки між речовинами котрі реагують немає границі розділу фаз. Особливо швидко проходить реакція між



речовинами, коли вони знаходяться в рідкому стані. Для прискорення реакції тверді речовини перетворюють в розплави або розчини. Такий перехід дає можливість зменшити кількість обладнання, знизити трудові витрати, зменшити собівартість продукції і раціонально використовувати тепловий ефект процесу.

У процесі переробки сировини на готову продукцію або напівфабрикат енергія може виділятися або поглинатися.

**За тепловим ефектом** технологічні процеси поділяють на **екзотермічні і ендотермічні.**

#### **Екзотермічні процеси**

Екзотермічними називають такі процеси, коли в разі взаємодії речовин виділяється теплота  $Q$ . Наприклад, горіння палива

утворення нового хімічного з'єднання

зміна агрегатного стану речовини, в разі його розчинення, плавлення, кристалізації, випарювання або конденсації. Наприклад, розчинення кислот у воді. При екзотермічних процесах необхідно охолоджувати реактори, а це великі витрати. Як охолоджувальне середовище часто використовують воду і повітря. Наприклад, під час виплавки чавуну в доменній печі остання охолоджується водою, яка циркулює по трубах, вмонтованих в корпус печі. Теплота, яка виділяється під час проходження екзотермічних процесів, використовується як для побутових потреб, так і для нагрівання сировини.

#### **Ендотермічні процеси**

Ці процеси супроводжуються поглинанням теплоти під час реакцій між речовинами. Для взаємодії речовин необхідно піднімати теплоту в зоні реакцій, тобто нагрівати агрегат або сировину, на що витрачається паливо або електрична енергія. Наприклад, випалювання вапна у вапняку

виплавлення чавуну з руд, отримання водяної пари нагріванням води і т.п.

Якщо поєднати екзо- і ендотермічні процеси, можна так відрегулювати швидкість руху теплових потоків, що кількість теплоти, яка виділяється під час реакцій, дорівнюватиме кількості теплоти, яка поглинається сировиною. Наприклад, окиснення  $SO_2$  в контактному апараті (агрегаті) в процесі виробництва сірчаної кислоти супроводжується виділенням теплоти

Ця теплота використовується для нагрівання зустрічного потоку холодного газу  $SO_2$  який надходить в контактний апарат для окиснення. В процесі теплообміну між газами ( $SO_2$  нагрівається,  $SO_3$  охолоджується) в зоні окиснення  $SO_2$  постійно підтримується оптимальна температура технологічного процесу, яка становить  $\sim 440^\circ C$ .

Основною вимогою для нормального функціонування технологічного процесу є дотримання режиму. Основу режиму становлять фактори, які істотно впливають на технологічний процес. Такими факторами є теплота, тиск, наявність каталізаторів, мікроорганізмів, світлових і інших променів і т.п.