

Лекція 3. Схеми руху газу та рідини в очисних апаратах

Відомі 3 схеми руху, а звідси й контакту в системі газ – рідина: *прямотік, протитік і перехресний рух.*

При *прямотоці* потоки газу та рідини рухаються паралельно одне одному в одну сторону, найчастіше – *зверху вниз*.

При *протитоці* вони також рухаються паралельно, але – в різні сторони: рідина – *зверху вниз*, а газ – навпаки: *знизу вверху*.

При перехресному русі рідина рухається *зверху вниз*, а газ – у *горизонтальному напрямку*.

На практиці переважно застосовують два перші види взаємодії. Третій зустрічається рідко.

2.1.1 Рушійна сила процесу масопередачі при різних схемах контакту

Як видно із схеми руху газу та рідини, при прямотоці концентрація шкідливого компонента в газі на вході в апарат „у” є робочою концентрацією, а звідси, *максимальною*. В цей же час концентрація розчиненого газу в рідині на вході „х_п” – мінімальна, в ідеалі дорівнює „0”.

На виході з апарата – навпаки: концентрація компонента в газі „у_к” – мінімальна, оскільки він перейшов у рідину, а його концентрація в рідину з цієї ж причини „х_к” – максимальна.

Таким чином, на початку процесу газ з високим вмістом компонента контактує з рідиною з низьким її вмістом, а звідси, - при невисокій величині рівноважної концентрації, в ідеалі – „0”.

З цього приводу на початку процесу рушійна сила значна.

Навпаки, в кінці процесу збіднений газ з низьким вмістом компонента зустрічає рідину, в яку перейшов компонент і тому його концентрація „х_к” значна, а відтак – висока рівноважна концентрація

Рушійна сила при прямих оці компонента у газі. Таке поєднання призводить до низької рушійної сили.

При *протитоці* газ з високим вмістом компонента на вході в апарат „у_n” контактує з рідиною, яка вже виходить з апарата „х_к”, а тому в цій також високій вміст компонента, що викликає значну рівноважну концентрацію його у газовій фазі.

На виході з апарата газ з низьким вмістом компонента контактує з рідиною, в якій компонента теж мало або його нема зовсім, отже рівноважна концентрація незначна або дорівнює нулю.

Такий вид контакту газу з рідиною характеризується близькими за значенням рушійними силами на вході та виході фаз з апарата.

Середня рушійна сила

Як видно із наведених схем руху газу та рідини в апараті рушійна сила процесу не є постійною, а може безперервно змінюватися по висоті апарата. В цей же час для розрахунків процесів масопередачі потрібна однозначна (постійна) величина. Такою величиною виступає *середня рушійна сила*.

При визначенні величини середньої рушійної сили можуть бути два випадки:

1. Залежність між рівноважними та робочими концентраціями *не лінійна*.
2. Залежність між рівноважними та робочими концентраціями лінійна, тобто виражається рівнянням: $y_p = m \cdot x$, де „*m*” – величина постійна.

У першому випадку середня рушійна сила масопередачі має вираз:

$$y_c = \frac{y_n - y_k}{\int_{y_k}^{y_n} \frac{dy}{y - y_p}}, \quad (39) \quad x_c = \frac{x_k - x_n}{\int_{x_n}^{x_k} \frac{dx}{x_p - x}} \quad (39a)$$

При практичному використанні рівнянь (39) та (39a) знаменник дробів знаходять з допомогою графічного інтегрування.

У другому випадку, коли між рівноважними та робочими концентраціями існує прямолінійна залежність, середня рушійна сила процесу масопередачі визначається як середня логарифмічна між рушійними силами

на початку та в кінці поверхні контакту або – інакше кажучи, – на початку та кінці процесу масопередачі:

$$\Delta y_c = \frac{(y_n - y_{pn}) - (y_k - y_{pk})}{\ln \frac{y_n - y_{pn}}{y_k - y_{pk}}} \quad (40)$$

Якщо позначити рушійну силу на початку процесу $\Delta y_n = y_n - y_{pn}$, а рушійну силу в кінці процесу $\Delta y_k = y_k - y_{pk}$ рівняння (40) можна записати в більш простій формі:

$$\Delta y_c = \frac{\Delta y_n - \Delta y_k}{\ln \frac{\Delta y_n}{\Delta y_k}} \quad (41) \qquad \Delta x_c = \frac{\Delta x_k - \Delta x_n}{\ln \frac{\Delta x_k}{\Delta x_n}}, \quad (41a)$$

при цьому тут і раніш індекс „n” означає „початок”, а індекс „k” – „кінець” процесу.

2.1.2 Рециркуляція

На початку розгляду хемосорбції вже згадувалось про те, що при одноразовому проходженні зрошуючої рідини через апарат, тобто при одноразовому контакті її з газом, поглинальний потенціал рідини використовується недостатньо, а тому треба рідину знову направляти на контакт з газом. Ця операція багаторазового повернення рідини у процес очистки називається *рециркуляцією*.

До того ж було зазначено, що при фізичній абсорбції рециркуляція пов’язана з прогресуючим погіршенням ефективності очистки і через те використовується лише в окремих специфічних випадках.

Зовсім інша річ, коли йдеться про хемосорбцію. Тут заздалегідь забезпечують значну кількість реагенту в рідині з таким розрахунком, щоб його вистачило на вилучення компонента з великої кількості газу. Тому рециркуляція у цьому випадку є одною з необхідних умов виконання поставленої задачі.

За цих обставин, схема є періодичною: після використання поглинального ресурсу зрошувальної рідини, її замінюють новою.

Чи здатна відпрацьована рідина піддаватись регенерації, – залежить від конкретної технології очистки.

Розрізняють два види рециркуляції: *повну* та *часткову*. Обидва вони показані на рисунку.

Як видно з рисунка (а), при повній рециркуляції вся рідина, що витікає з апарату знову повертається на чергове зрошення. Саме при такій рециркуляції, тобто – повній, в умовах фізичної абсорбції настає подальше погіршення очистки по мірі насичення рідини розчиненим газом.

На рисунку (б) зображена схема часткової рециркуляції, при якій лише частина рідини, що витікає з апарату, передається на черговий контакт з газом. Решта рідини виводиться з циклу зрошення. На заміну виведеної подається свіжа рідина.

Чисельне відношення загальної кількості поглинальної рідини на вході в апарат до кількості свіжої носить назву кратності рециркуляції. У даному

прикладі це є:
$$n = \frac{L+l}{L}.$$

Треба зазначити, що в сучасних технологіях газоочистки часткової рециркуляції в, так би мовити, „чистому” вигляді, коли частина рідини виведеної з процесу скидалася в водоймище, вже не буває (офіційно). Тепер та частина, що виводиться з циклу рециркуляції, направляється на регенерацію, після якої рідина повертається на зрошення газу, приєднуючись до циркулюючої.

Таким чином, можна говорити про два контури або кола рециркуляції: мале або внутрішнє, що замикається на самому апараті, та велике або зовнішнє, яке передбачає проходження крізь систему регенерації.

Позитивною стороною такої схеми є її безперервність, при якій забезпечується з однієї сторони реалізація поглинального ресурсу певної частини рідини, а з другої – іншу частину безупинно піддають регенерації.

Що до самої регенерації, то вона розглядалася більш докладно у розділі хемосорбції.

На практиці є схеми, коли мале коло рециркуляції відсутнє, а існує лише велике. Такі схеми будуть розглянуті сукупно з багатоступеневою очисткою газу.

2.2 Одно–, дво– та багатоступеневі схеми очистки газів

Свого часу ми розглядали рециркуляцію зрошувальної рідини, як можливу умову повного використання її поглинального потенціалу, коли за одноразовий контакт з газом цього не досягається.

Проте, на практиці суцільно трапляються випадки, коли газ, пройшовши один раз через апарат, тобто через один ступінь контакту з рідиною, теж не зазнає належної глибини очистки.

На жаль, його не можна повернути на рециркуляцію як рідину, оскільки він безперервно поступає з джерела емісії.

З огляду на це, газ, якщо не зазнає належної очистки після першого апарата, направляють на другий: так виникає двоступенева очистка. Трапляється, що й в два ступеня газ не досягає заданої очистки. Тоді його скеровують на третю. Така очистка носить назву *багатоступеневої*. Ступені очистки завжди рахуються за рухом газу.

Постає питання, а як же рухається зрошувальна рідина в багатоступеневій очистці?

Отут ми підходимо до поєднання багатоступеневої очистки з різними формами циркуляції та рециркуляції поглинальної рідини, про що говорилося у кінці розділу 2.1.2.

Як видно з рисунка (а), на ньому зображена двоступенева очистка. І перший ступінь, і другий зрошується в режимі часткової рециркуляції: у обох

є внутрішній цикл, у якому рідина багаторазово циркулює через апарат, і зовнішній, який включає систему регенерації.

Слід зауважити, що зовнішній цикл обслуговує не кожен ступінь окремо, а обидва – одночасно: поглинальна рідина на регенерацію поступає з контуру I-го ступеня очистки, а регенерована – в контур зрошення II-го ступеня. При цьому, частина поглинальної рідини з II-го ступеня передається в зрошувальний контур I-го. Оскільки ця рідина контактувала зі збідненим газом, а контур підживлюється регенерованою, то вона має певний невикористаний ресурс, який реалізується на I-му ступені очистки. На цьому ступені рідина контактує з „багатим” газом, тому її поглинальна здібність швидко використовується, що теж зумовлює неповну очистку газу.

З іншої сторони газ недоочищений на I-му ступені, на II-му контактує з рідиною, в якій значно більший поглинальний потенціал, тому газ очищається остаточно, до заданих меж.

На рисунку (б) показана схема багатоступеневої очистки, що складається з трьох апаратів, які газ проходить послідовно. Як і в попередній схемі, контакт газу з рідиною здійснюється в режимі протитоку як в конкретному апараті, так і в схемі в цілому. Відмінність цієї схеми від попередньої не тільки в кількості ступенів очистки, а в іншому проходженні рідини: в ній нема контуру внутрішньої рециркуляції, а лише – зовнішній з системою регенерації.

Відмова від внутрішньої рециркуляції зумовлена саме трьома ступенями очистки, що забезпечує більш довготривалий загальний час контакту поглинальної рідини з газом, достатній для повного використання її поглинального потенціалу.

У цій схемі регенерована рідина, постійно збагачувана реагентом, поступає на зрошення останнього, III-го ступеня очистки, де зустрічається зі значно збідненим газом, що призводить до його остаточної очистки.

Частково відпрацьована рідина передається на II – й ступінь очистки, звідки вона виходить ще більш відпрацьованою, і поступає на I – й ступінь, де

контактує з неочищеним газом, що забезпечує реалізацію залишків її поглинального потенціалу.

Повністю відпрацьована рідина направляється на регенерацію.

В обох схемах передбачається, що поповнення реагентом ведеться в системі регенерації.

Наведені схеми дають лише загальну картину взаємодії рідини з газом. На практиці зустрічаються різні варіанти такої взаємодії, що більш докладно буде розглядатися у третій частині дисципліни.