

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 12

«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ

В УСТАНОВЦІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ»

З ДИСЦИПЛІН:

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІКО-ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ II–IV КУРСІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ:

226 – ФАРМАЦІЯ

162 – БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

181 – ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Затверджено на засіданні кафедри
процеси, апарати та загальна
хімічна технологія
Протокол № 9 від 30.05.17

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 12 «Дослідження процесу адсорбції в установці періодичної дії» з дисциплін: «Процеси та апарати хіміко-фармацевтичних виробництв», «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв», «Процеси та апарати харчових виробництв» для студентів II–IV курсів усіх форм навчання спеціальностей: 226 – Фармація, 162 – Біотехнологія та біоінженерія, 181 – Харчові технології / Укл.: Гриднєва Т.В., Опарін С.О., Рябік П.В. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2018. – 14 с.

Укладачі: Т.В. Гриднєва
С.О. Опарін, канд. техн. наук
П.В. Рябік, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.В. Кравченко, д-р техн. наук

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 12 «Дослідження процесу адсорбції в установці періодичної дії» з дисциплін: «Процеси та апарати хіміко-фармацевтичних виробництв», «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв», «Процеси та апарати харчових виробництв» для студентів II–IV курсів усіх форм навчання спеціальностей: 226 – Фармація, 162 – Біотехнологія та біоінженерія, 181 – Харчові технології

Укладачі: ГРИДНЄВА Тетяна Василівна
ОПАРІН Сергій Олександрович
РЯБІК Павло Васильович

Технічний редактор В.П. Синицька
Комп'ютерна верстка В.П. Синицька

Підписано до друку 07.09.18. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 0,63. Обл.-вид. арк. 0,71. Тираж 100 прим. Зам. № 64.
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

Лабораторна робота № 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ В УСТАНОВЦІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Мета роботи – визначити дослідним шляхом час захисної дії шару адсорбенту при поглинанні пари ацетону з повітря та порівняти його з розрахунковим часом захисної дії, визначити розрахунковий коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Адсорбція – це процес вибіркового поглинання одного або кількох компонентів із газової або рідинної суміші поверхнею твердого поглинача.

Твердий поглинач називають *адсорбентом*, а речовина, яка поглинається із газової або рідинної суміші – *адсорбтивом*, речовина, яка вже поглинута – *адсорбат*.

В якості адсорбентів використовують пористі тверді речовини з великою питомою поверхнею, яка відноситься до одиниці маси речовини.

Адсорбція використовується, головним чином, при невеликих концентраціях речовини, яка поглинається, у початковій суміші та коли потрібно досягти практично повного витягу адсорбтиву.

Розрізняють фізичну і хімічну адсорбцію.

Процеси фізичної адсорбції є вибілковими та зворотними. Це значить, що кожний поглинач має здатність поглинати лише певні речовини і не поглинає (або поглинає лише в незначній кількості) інші речовини, які містяться у газовій суміші або розчині. Завдяки їх зворотності стає можливим виділення поглинутих речовин з адсорбенту або проведення процесу десорбції - процесу зворотного адсорбції.

Фізична адсорбція зумовлена взаємним притяганням молекул адсорбату і адсорбенту під дією сил Ван-дер-Ваальса і не супроводжується хімічною взаємодією адсорбованої речовини з поглиначем.

При хімічній адсорбції або хемосорбції, у результаті хімічної реакції між молекулами поглинутої речовини і поверхневими молекулами поглинача виникає хімічний зв'язок.

1.1 Типи адсорбентів

У промисловості в якості поглиначів використовують активоване вугілля та мінеральні адсорбенти (силікагелі, цеоліти та ін.), а також синтетичні іонообмінні смоли (іоніти, цеоліти).

Активоване вугілля. Високопористе активоване вугілля одержують під час сухої перегонки різних речовин, що містять вуглець (деревини, стружки, костей та ін.) з подальшим активуванням одержаного вугілля для збільшення його пористості. Активування здійснюють прожарюванням вугілля за температури до 900°C або видаленням з його пор смол та інших продуктів сухої

перегонки їх екстрагуванням органічними розчинниками чи окисленням киснем повітря. Для підвищення активності вугілля до нього перед обвуглюванням можна додавати активуючі речовини (розчини $ZnCl_2$, лугів, кислот та ін.).

Насипна густина активованого вугілля коливається в межах $350\text{--}450\text{ г/м}^3$, питома поверхня $600\text{--}1700\text{ м}^2/\text{г}$, а розміри гранул в межах $1\text{--}5\text{ мм}$. Застосування того чи іншого типу вугілля залежить від задачі, яка ставиться (поглинання газів, рекуперація летких розчинників та ін.). Переважно воно використовується для рекуперації летких розчинників. Активоване вугілля краще поглинає пару органічних речовин ніж води, однак із збільшенням їх вологості здатність поглинати пару органічних речовин знижується. До недоліків активованого вугілля належать його здатність до горіння та низька механічна міцність.

Силікагель. Силікагелі являють собою гідратовані аморфні кремнеземи ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Об'єм пор силікагелів становить $0,3\div 1,2\text{ см}^3/\text{г}$, а гравіметрична густина знаходиться в межах $0,4\div 0,9\text{ г/см}^3$. Силікагель одержують в результаті обробки рідкого скла (розчин силікату натрію) мінеральними кислотами або кислими розчинами їх солей і є продуктом зневоднення гелю кремнієвої кислоти. Питома поверхня силікагелю коливається в межах $440\text{--}770\text{ м}^2/\text{г}$, насипна густина може становити $100\text{--}800\text{ кг/м}^3$, розмір гранул – $0,2\text{--}7\text{ мм}$.

Силікагель використовують переважно для висушування повітря та інших газів. Поглинаюча здатність силікагелю відносно пари органічних речовин за присутності вологи суттєво знижується. Порівняно з активованим вугіллям силікагелю властиві більша механічна міцність і повна негорючість.

Алюмогелі. Алюмогелі ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) використовують для висушування газів та вловлювання органічних полярних сполук. Питома поверхня їх становить $170\div 220\text{ м}^2/\text{г}$, сумарний об'єм пор знаходиться у межах $0,6\div 1,0\text{ см}^3/\text{г}$ та насипна густина – від 500 до 900 кг/м^3 . На відміну від силікагелів, вони тривкі до впливу крапель вологи.

Цеоліти. Цеоліти ($Me_{2n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$) є природними або синтетичними мінералами і являють собою водні алюмосилікатні катіони елементів першої і другої груп періодичної системи Д.М. Менделєєва. У промисловості застосовують як адсорбенти переважно штучні (синтетичні) цеоліти з однорідною структурою пор, розміри яких збігаються з розмірами адсорбованих молекул. Вони проявляють молекулярно-ситову дію, яка полягає в здатності не поглинати молекули, розмір яких є більшим від розміру пор. Такі властивості мають також деякі природні цеоліти, наприклад, натроліт. Молекулярно-ситову дію цеолітів використовують у промисловості для розділення різних речовин, наприклад, нормальних та ізопарафінових вуглеводнів.

Цеоліти характеризуються високою поглинаючою здатністю стосовно води і є високоефективними поглиначами для висушування газів та очищення рідин. Особливо це стосується глибокого висушування газів, які містять невелику кількість вологи. Розмір гранул становить $2\text{--}5\text{ мм}$.

Іоніти. До іонітів належать речовини неорганічного та органічного походження, які є натуральними або штучними. До природних іонітів належать:

викопне вугілля, глинисті матеріали та ін. Синтетичні іоніти: плавлені цеоліти, молекулярні сита (цеоліти з правильною кристалічною будовою), іонообмінні смоли, активовані мінерали і органічні речовини тощо. Іоніти нерозчинні у воді та у звичайних розчинниках і характеризуються наявністю рухомих іонів, здатних обмінюватися на еквівалентну кількість іонів (із іонами того ж знаку) з розчину електроліту, з яким поглинач взаємодіє.

Іоніти, що містять кислотні активні групи та обмінюються з розчином електроліту рухомими аніонами, називаються *аніонітами*, а іоніти, які містять основні активні групи та обмінюються рухомими катіонами, називаються *катіонітами*. Існують також *амфотерні іоніти*, які здатні здійснювати катіонний й аніонний обмін одночасно.

Механізм іонного обміну зумовлений структурою і властивостями іоніту. Наприклад, іоніти з кристалічною решіткою містять в її кутах іони, що утримуються електростатичними силами: під дією цих сил і відбувається загальний іонний обмін. Властивості багатьох іонітів пов'язані з їхньою здатністю до набухання у водних розчинах; набухання зазвичай супроводжується значним підвищенням тиску.

Іонообмінні смоли вирізняються великою обмінною ємністю, вибірковістю до певних іонів, хімічною стійкістю і механічною міцністю, що ставить їх на перше місце при практичному використанні іонітів.

Змінюючи склад активних груп під час синтезу іонообмінних смол можна одержати іоніти з дуже різноманітними властивостями.

1.2 Характеристики адсорбентів

Основними характеристиками твердого поглинача є *поглинальна (адсорбційна) здатність*, питома поверхня, вільний об'єм (пористість), густина адсорбенту.

Вільним об'ємом називають відношення порожнього простору між частинками до об'єму, який займає шар.

Питома поверхня називається поверхня частинок матеріалу, яка припадає на одиницю об'єму, який займає шар ($\text{м}^2/\text{м}^3$).

Питома поверхня макропор відносно дуже мала, тому на їхніх стінках адсорбується незначна кількість речовини.

Адсорбенти характеризуються своєю поглинаючою або адсорбційною, властивістю, яка визначається концентрацією адсорбтиву в одиниці маси чи об'єму адсорбенту.

Адсорбційна властивість називається також активністю адсорбенту. Поглинальна здатність адсорбенту залежить від температури і тиску, за яких відбувається адсорбція, і від концентрації речовини, яка поглинається. Максимально можливу за певних умов поглинальну здатність адсорбенту називають його рівноважною активністю.

При протіканні процесу адсорбції концентрація адсорбтиву в адсорбенті безперервно збільшується та досягає найбільшого значення, можливого при даних умовах, і система досягає рівноваги.

Рівноважна активність (статична активність) – це максимально можлива за даних умов поглинальна здатність адсорбенту. Статична активність шару адсорбенту (X_a^*) – це кількість речовини, поглинутої одиницею маси (або об'єму) адсорбенту за час від початку адсорбції до досягнення рівноважного стану.

Динамічна активність шару адсорбенту (X_d) – це кількість речовини, поглинутої одиницею маси (або об'єму) адсорбенту за час від початку адсорбції до моменту “проскоку”.

Проскок – поява адсорбтиву за шаром адсорбенту.

1.3 Рівновага в процесі адсорбції

При постійній температурі статична величина адсорбції залежить тільки від парціального тиску або концентрації адсорбтиву:

$$\bar{X}^* = f(\bar{Y})_T \quad (1.1)$$

де $\bar{X}^*$ – відносна концентрація адсорбату в адсорбенті, рівноважна з концентрацією адсорбтиву у газовій або рідинній фазі, вимірюється у кг адсорбату/ кг адсорбенту, або кг адсорбату/ м³ адсорбенту;

$\bar{Y}$ – відносна концентрація адсорбтиву у фазі, із якої адсорбується речовина, кг адсорбтиву/ кг носія, або кг адсорбтиву/ м³ носія.

Концентрація речовини може бути замінена її парціальним тиском P у парогазовій суміші. Тоді $\bar{X}^* = f(P)$.

Цю залежність, що є однією з головних характеристик адсорбційної здатності адсорбентів, називають *ізотермою адсорбції*.

Залежно від пористої структури адсорбенту та властивості адсорбтиву форми ізотерм адсорбції не однакові і характеризуються різними рівняннями (наприклад, рівняння ізотерм адсорбції Дубиніна-Радускевича, Фрейдліха, Ленгмюра, Генрі та ін.).

1.4 Швидкість процесу адсорбції

На практиці поглинання адсорбтиву адсорбентом іде в динамічних умовах.

Розглянемо випадок, коли в стаціонарний (нерухомий) шар адсорбенту висотою H з початковою концентрацією адсорбата X_n безперервно надходить потік газу-носія V_r з початковою концентрацією Y_n (рис. 1.1).

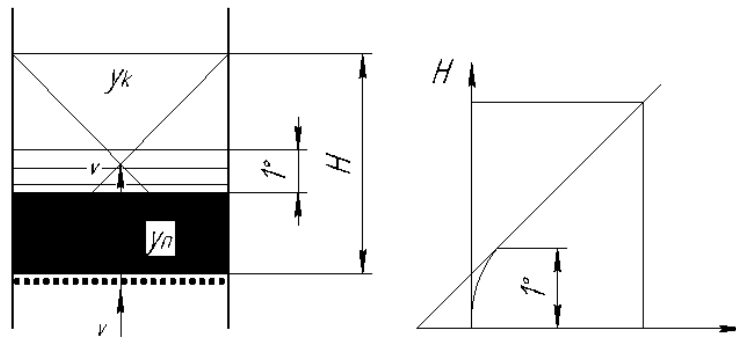


Рисунок. 1.1 – Масопередача при адсорбції

У першому шарі поглинеться велика кількість адсорбтиву, в наступному – менша і т.д., доки весь адсорбтив не зникне з газу-носія. Концентрація адсорбату в кожному шарі адсорбенту дорівнюватиме статичній активності X^* при миттєвій швидкості адсорбції.

Через деякий відрізок часу, перший шар адсорбенту насичується адсорбтом до X^* і більше поглинати його не може. Отже, адсорбтив пройде крізь цей шар без будь-яких змін і процес поглинання переміститься в наступні шари адсорбенту. Ділянка шару адсорбенту l_0 , на якій відбувається зниження концентрації адсорбтива в потоці від початкової до нульової називають *робочим шаром* або *зоною масо передачі*. В процесі поглинання адсорбтива в шарі формується поле концентрацій компоненту, який поглинається, який називають *фронтом адсорбції*.

При постійних витратах газу-носія та його початкової концентрації швидкість переміщення фронту адсорбції буде постійною. Концентрація адсорбтива у вихідному газі-носії Y_k дорівнюватиме нулю, доки фронт адсорбції знаходитиметься у шарі адсорбенту повністю. Як тільки він вийде за межі шару адсорбенту, в газі-носії з'явиться адсорбтив ($Y_k \neq 0$), тобто відбуватиметься його «проскок». Час від початку подавання газу до моменту «проскоку» називають *часом захисної дії* шару адсорбенту.

Шлях рівномірного руху фронту адсорбції з швидкістю g за час захисної дії шару адсорбенту τ_z складає $H - l_0$, тому:

$$H - l_0 = g \cdot \tau_z$$

Звідки:

$$\tau_z = \frac{H}{g} - \frac{l_0}{g} = \frac{H}{g} - \tau_0,$$

де $\tau_0 = \frac{l_0}{g}$ називається часом формування фронту адсорбції або втрата

часу захисної дії шару адсорбенту, зумовлена тим, що формування фронту адсорбції відбувається не раптово, с;

$K = \frac{l}{g}$ – коефіцієнт захисної дії шару адсорбенту, який дорівнює

тривалості насичення шару адсорбенту висотою l м, с/м;

H – висота шару адсорбенту, м.

Процес адсорбції у динамічних умовах характеризується часом від початку пропускання газової суміші через шар адсорбенту до моменту появи «проскоку» речовини за шаром адсорбенту. Цей проміжок часу визначається за рівнянням Шилова [1] і називається *часом захисної дії шару адсорбенту*:

$$\tau_z = K \cdot H - \tau_0 \quad (1.2)$$

Коефіцієнт захисної дії шару адсорбенту можна визначити за рівнянням [2]:

$$K = \frac{X_d}{\omega_\phi \cdot \bar{Y}_n}, \quad (1.3)$$

де X_d – динамічна активність шару адсорбенту, кг ацетону/ м³ адсорбенту;
 $\bar{Y}_n$, – початкова концентрація речовини, що адсорбується в ацетоно-повітряній суміші, кг ацетону/ м³ адсорбенту;

ω_ϕ – фіктивна швидкість парогазової суміші, м/с.

В адсорбері масова витрата адсорбтиву M , що переходить із газової фази у шар адсорбенту, визначається за *рівнянням матеріального балансу*:

$$M = G(\bar{Y}_n - \bar{Y}_k) \cdot \tau_z = L(\bar{X}_k - \bar{X}_n) \quad (1.4)$$

і *масопередачі*:

$$M = K_{vy} \cdot V_{ш} \cdot \Delta \bar{Y}_{сер} \cdot \tau \quad (1.5)$$

де G – масова витрата повітря, кг/с;

L – маса адсорбенту, кг;

$\bar{Y}_n, \bar{Y}_k$ – концентрація адсорбтиву у газовому потоці на вході у адсорбер і

на виході з нього, кг/кг або кг/м³;

$\bar{X}_k, \bar{X}_n$ – концентрація адсорбату в адсорбенті на початку та в кінці процесу адсорбції, кг/ м³ сорбенту;

K_{vy} – об'ємний коефіцієнт масопередачі, с⁻¹;

$\Delta \bar{Y}_{сер}$ – середня рушійна сила процесу, кг/м³ або кг/кг;

τ_z – час захисної дії адсорбенту, с;

$V_{ш}$ – об'єм шару адсорбенту, м³

В зв'язку з тим, що відсутні надійні залежності для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі у твердій фазі β_{xy} , більшість розрахункових залежностей для K_{yv} одержано за умов, коли швидкість внутрішньої масовіддачі така велика, що відношенням m/β_{xy} можна знехтувати та прийняти $K_{yv} = \beta_{yv}$, тоді рівняння масопередачі матиме вигляд:

$$M = \beta_{vy} \cdot V_{ш} \cdot \Delta Y_{сер} \cdot \tau_z, \quad (1.6)$$

де β_{yv} – коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі, м/с;

$V_{\text{ш}}$ – об'єм шару адсорбенту, м^3 ;

$\Delta \bar{Y}_{\text{сер}}$ – середня рушійна сила процесу, $\text{кг}/\text{м}^3$ або $\text{кг}/\text{кг}$;

τ – час захисної дії адсорбенту, с.

1.5 Конструкції адсорберів

Всі адсорбери, що використовуються у промисловості, можна поділити на три групи:

1) адсорбери з нерухомим шаром;

2) адсорбери з рухомим шаром;

3) адсорбери з киплячим шаром.

У свою чергу, в кожній з груп адсорбери розрізняються за видом вживаного адсорбенту і за конструктивною будовою (вертикальні, горизонтальні та кільцеві адсорбери).

2 СХЕМА ТА ОПИС УСТАНОВКИ

Схема адсорбційної установки періодичної дії наведена на рис. 2.1. Із ємності 6, відкриваючи вентиль 12, подаємо ацетон у барботер 7. За допомогою газодувки 8 подаємо повітря в установку. Одна частина повітряного потоку надходить у барботер ацетону 7, а друга – у змішувач 5. В барботері при проходженні повітря через шар ацетону утворюються пари ацетону, які направляються в змішувач, де відбувається змішування парів ацетону та повітря. Суміш пари ацетону і повітря, витрата якої визначається реометром 4, із змішувача направляється в одну із адсорбційних колонок 1, 2 або 3, в яких насипане активоване вугілля. Із адсорбційної колонки газовий потік проходить через аналізатор 9, в якому налита індикаторна рідина, та виходить в атмосферу.

1,2,3 – адсорбційна колонка; 4 – реометр; 5 – змішувач, 6 – ємність; 7 – барботер;

8 – газодувка; 9 – аналізатор; 10, 13, 14, 15, 16, 17 – вентиль

Рисунок 2.1 – Схема адсорбційної установки періодичної дії

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДУ

1. В одну із адсорбційних колонок засипати активоване вугілля висотою, вказаною викладачем із точністю 0,1 см.
2. Заповнити барботер 7 ацетоном із ємкості 6, відкривши вентиль 12.
3. При закритих вентилях 11, 13 відкрити вентиль, який працює на адсорбційній колонці.
4. Відкрити вентиль 13, а потім вентиль 11 та ввімкнути секундомір. За реометром 4 визначити витрату повітря.
5. Зафіксувати момент «проскоку» – при появі пари ацетону за шаром адсорбенту, яке визначається зміною кольору індикатора в аналізаторі 9 (для ацетону як індикатор застосовується 2,4-динітрофенілгідразин). Вимкнути секундомір.
6. Після закінчення випробовування вентилем 11 відімкнути барботер 7 і зупинити подачу повітря, закривши вентиль 10.
7. Заміряти рівень ацетону у барботері та визначити зміну його рівня, а також час захисної дії шару адсорбенту.
8. Повторити п. 1–7 для інших адсорбційних колонок із різною висотою шару вугілля.
9. Результати дослідів занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Дослідні дані

Номер адсорбційної колони	Час захисної дії τ , с	Висота нерухомого шару H , м	Витрата пароповітряної суміші Q , м ³ /с	Зміни рівня ацетону у барботері, $\Delta h_{p,m}$
1				
2				
3				

Таблиця 3.2 – Характеристики установки, адсорбтиву та адсорбенту

Найменування	Характеристика
Діаметр адсорбційної колони, м	$d_{ad} = 2,6 \cdot 10^{-2}$
Площа поперечного перерізу адсорбційної колонки, м ²	$f_{ad} = 0,785 \cdot d_{ad}^2 = 5,31 \cdot 10^{-4}$
Діаметр барботера, м	$d_6 = 2,8 \cdot 10^{-2}$
Вільний поперечний переріз барботера, м ²	$f = 0,785 \cdot d_6^2 = 6,15 \cdot 10^{-4}$
Середній діаметр зерен активного вугілля, м	$d_3 = 2 \cdot 10^{-3}$
Насипна густина вугілля, кг/м ³	$\rho_s = 430$
Густина пароповітряної суміші, кг/м ³	$\rho_e = 1,22$
Порізність шару адсорбенту, м ³ /м ³	$\varepsilon = 0,465$
Коефіцієнт дифузії ацетону в повітрі при $t = 20^\circ\text{C}$, м ² /с	$D = 1,235 \cdot 10^{-5}$
Густина ацетону, кг/м ³	$\rho_p = 810$
Дифузійний критерій Прандля	$Pr^{0,33} = 1,06$
Кінематичний коефіцієнт в'язкості газової фази за повітрям, м ² /с	$\nu_{20} = 0,15 \cdot 10^{-4}$
Фактор форми зерна вугілля	$\Phi = 0,8$

4 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

1. Маса адсорбованої речовини, кг

$$M = f_{\text{б}} \cdot \Delta h_p \cdot \rho_p, \quad (4.1)$$

де $f_{\text{б}}$ – вільний поперечний переріз барботера, м^2 , див. табл. 4.2;

ρ_p – густина ацетону, $\text{кг}/\text{м}^3$, див. табл. 4.2;

Δh – зміна рівня ацетону у барботері, м.

2. Динамічна активність адсорбенту, $\text{кг}/\text{м}^3$ адсорбенту

$$X_{\text{д}} = \frac{M}{V_{\text{ш}}}, \quad (4.2)$$

де M – маса адсорбованої речовини, кг;

$V_{\text{ш}}$ – об'єм нерухомого шару, м^3 .

3. Об'єм нерухомого шару, м^3

$$V_{\text{ш}} = H \cdot f_{\text{ад}}, \quad (4.3)$$

де $f_{\text{ад}}$ – площа поперечного перерізу адсорбційної колонки, м^2 , див. табл. 4.2.

4. Статична активність, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$X_a^* = \frac{X_{\text{д}}}{0,8 \div 0,9}. \quad (4.4)$$

5. Початкова концентрація ацетону у пароповітряній суміші, $\text{кг}/\text{м}^3$ адсорбенту

$$\bar{Y}_n = \frac{M}{Q \cdot \tau_z}, \quad (4.5)$$

де Q – об'ємна витрата пароповітряної суміші, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ_z – час захисної дії адсорбенту, с;

6. $\bar{Y}_k$, приймаємо рівним $0,05 \bar{Y}_n$.

7. Фіктивна швидкість парогазової суміші, $\text{м}/\text{с}$.

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{Q}{f_{\text{ад}}}, \quad (4.6)$$

де $f_{\text{ад}}$ – площа поперечного перерізу адсорбційної колонки, м^2 , див. табл. 4.2.

8. Коефіцієнт захисної дії шару адсорбента, $\text{с}/\text{м}$:

$$K = \frac{X_d}{\omega_\phi \cdot \bar{Y}_n} . \quad (4.7)$$

8. Втрати часу захисної дії шару адсорбента, τ_0 , с, знаходять за формулою (1.2):

$$\tau^0 = K \cdot H - \tau^3 . \quad (4.8)$$

9. Розрахунковий час захисної дії визначаємо із рівняння матеріального балансу (1.4):

$$\tau_{з.розр} = \frac{M}{G(\bar{Y}_n - \bar{Y}_k)} , \quad (4.9)$$

де G – масова витрата пароповітряної суміші, кг/с.

$$G = Q \cdot \rho_z , \quad (4.10)$$

де ρ_z – густина пароповітряної суміші, кг/м³, див. табл.4.2.

11. Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{4\omega_\phi}{\alpha \cdot \nu_y} , \quad (4.11)$$

де α – питома поверхня шару адсорбенту, м²/ м³

$$\alpha = \frac{6(1 - \varepsilon)}{\Phi \cdot d_3} , \quad (4.12)$$

де ε – частка вільного об'єму або порізність шару адсорбенту, м³/ м³, див. табл. 4.2;

α – питома поверхня шару адсорбенту, м²/ м³;

Φ – фактор форми зерен; див. табл. 4.2;

d_3 – середній діаметр зерен, м, див. табл. 4.2;

де ω_ϕ – фіктивна швидкість парогазової суміші, м/с (формула (4.6));

ν_y – кінематичний коефіцієнт в'язкості газової фази, м²/с, див. табл. 4.2.

12. Дифузійний критерій Нусельта

Визначаємо критерій Рейнольдса за пунктом 11.

– при значеннях Re від 2-30 критерій Нусельта $Nu' = 0,725 \cdot Re^{0,47} \cdot (Pr')^{0,33}$

– при значеннях $Re > 30$ критерій Нусельта $Nu' = 0,395 \cdot Re^{0,64} \cdot (Pr')^{0,33}$

де Nu – дифузійний критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr' – дифузійний критерій Прандтля:

$$Pr' = \frac{\nu_y}{D_y}, \quad (4.13)$$

де ν_y – кінематичний коефіцієнт в'язкості газової фази, m^2/s ;

D_y – коефіцієнт дифузії адсорбтиву газової фази, m^2/s .

13. Коефіцієнт масовіддачі β_{yv} , m/s , ф.

Для визначення β_{yv} , на значення якого впливає гідродинамічний режим руху потоку газу (рідини), використовують дифузійний критерій Нуссельта, який визначають за формулою:

$$Nu' = \frac{\beta_{yv} \cdot d_{ek}^2}{D_y}, \quad (4.14)$$

β_{yv} – коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі, m/s ;

d_{ek} – еквівалентний діаметр для зернистого шару, m .

D_y – коефіцієнт дифузії адсорбтиву газової фази, m^2/s .

Еквівалентний діаметр для зернистого шару визначають, як:

$$d_{ek} = \frac{4\varepsilon}{a}, \quad (4.15)$$

де ε – частка вільного об'єму або порізність шару адсорбенту, m^3/m^3 , див. табл. 4.2;

a – питома поверхня шару адсорбенту, m^2/m^3 (див. формулу (4.12))

З формули (4.14) знаходимо β_{yv} :

$$\beta_{yv} = \frac{Nu' \cdot D_y}{d_{ek}^2} \quad (4.14)$$

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва лабораторної роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема та опис установки.
4. Таблиці.
5. Розрахунки.
6. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назва та мета лабораторної роботи.
2. Що таке адсорбція?
3. Застосування адсорбції.
4. Вплив температури і тиску на процес адсорбції.
5. Види адсорбентів?
4. Вимоги до адсорбентів?
5. Що таке статична активність адсорбенту?
6. Що таке динамічна активність адсорбенту?
7. Рівновага в процесі адсорбції, «ізотерма адсорбції».
8. Вплив температури і тиску на процес адсорбції
9. Матеріальний баланс адсорбції. Формула та розшифровка величин.
10. Рівновага в процесі адсорбції, «ізотерма адсорбції».
11. Поняття фронту адсорбції.
12. Що таке час захисної дії шару адсорбенту?
13. Рівняння Шилова. Формула та розшифровка величин.
14. Що таке коефіцієнт захисної дії шару?
15. Рівняння масопередачі адсорбції. Формула та розшифровка величин.
16. Типи адсорберів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 764 с.
3. Плановский А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологи. – М.: Химия, 1969. – 848 с.