

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
«Адсорбційне очищення води від забруднюючих речовин»
з дисципліни «Основи екології»
для студентів усіх спеціальностей

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 25.06.2020 р.

Харків,
НТУ «ХП»,
2020

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Адсорбційне очищення води від забруднюючих речовин» з дисципліни «Основи екології» для студентів усіх спеціальностей / Уклад. : В. В. Березуцький, О. О. Кузьменко, О. В. Толстоусова, О. С. Лісогор – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 20 с.

Укладачі

Березуцький В. В.,
Кузьменко О. О.,
Толстоусова О. В.,
Лісогор О. С.

Рецензент

Древаль О. М.

Кафедра безпеки праці та навколишнього середовища

1. АДСОРБЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Лабораторна робота виконується у рамках вивчення теми «Природні та антропогенні фактори впливу на біосферу» для надбання практичних навичок у фізико-хімічних методах очищення стічних промислових вод і захисту гідросфери.

Мета роботи – оволодіти методикою адсорбційного очищення води від забруднюючих речовин із застосуванням активованого вугілля та дослідити процеси адсорбції в розчинах.

1.1 Загальні положення

Більшість підприємств чорної і кольорової металургії, хімічної, нафтохімічної, нафтової, газової, вугільної, лісової, целюлозно-паперової промисловості після очищення скидають стічні води безпосередньо у водойми, куди також надходять забруднення з поверхневим стоком із прилеглих територій. Забруднюючі речовини поступово накопичуються в поверхневих водах, що призводить до зниження якості води. Щоб цього не відбувалося, необхідно удосконалювати методи очищення стічних вод.

Технологічно очищення стічних вод являє собою складний, багатоступеневий процес.

У даний час застосовуються наступні методи очищення стічних вод:

- 1) механічні: проціджування, відстоювання, осадження, фільтрація, флотация та інші;
- 2) хімічні: нейтралізація, окислення та відновлення та інші;
- 3) фізико-хімічні: адсорбція, абсорбція, іонний обмін, коагуляція і флокуляція, мембранні методи та інші.
- 4) біохімічні.

На підприємствах використовують комбіновані методи, які включають декілька із перерахованих вище методів.

Підвищення вимог до якості питних і очищених стічних вод пояснює необхідність застосування тонких методів очищення. Одним з таких методів є адсорбційний.

1.2 Загальні відомості про процес адсорбції та його практичне значення.

Адсорбційні методи широко застосовують для глибокого очищення стічних вод, у тому числі і від органічних речовин, таких як феноли, гербіциди, пестициди, ароматичні нітросполуки, ароматичні речовини, барвники, тощо.

Вважається найбільш раціональним використовувати адсорбційне очищення для стічних вод, в яких містяться переважно ароматичні сполуки, неелектроліти або слабкі електроліти, барвники, ненасичені сполуки або гідрофобні аліфатичні сполуки (наприклад, які містять хлор або нітрогрупи). Для очищення вод, що забруднені тільки неорганічними сполуками або нижчими одноатомними спиртами, цей метод не застосовується.

Адсорбційне очищення може застосовуватися для попереднього та глибокого очищення як самостійний метод, а також разом з біологічним очищенням.

Переваги адсорбційного методу очищення – висока ефективність очищення (від 85 до 99 %), особливо слабо концентрованих стічних вод, можливість очищення стічних вод, які містять декілька забруднюючих речовин, а також рекуперація цих речовин.

Під рекуперацією розуміють процес вилучення корисних речовин, які брали участь у технологічному процесі і попали у відходи, та повернення їх в первісному вигляді для повторного використання. Виходячи з цього, адсорбційне очищення стічних вод може бути *регенераційним* (рекуперативним), коли адсорбент вилучається і повторно використовується після відновлення (регенерації), або *деструктивним*, при якому вилучені речовини знищуються разом з адсорбентом.

Адсорбція — вибіркове поглинання речовини з газового чи рідкого середовища поверхневим шаром твердого тіла чи рідини.

Адсорбент – це речовина, на поверхні якої відбувається адсорбція (поглинання). Наприклад, активоване вугілля адсорбує органічні речовини.

Речовина, частки якої поглинаються (рідина, газ, розчинний компонент), називають **адсорбатом**.

В якості адсорбентів можуть виступати різноманітні матеріали штучного і природного походження з високою питомою поверхнею: пористий вуглець (активоване вугілля), силікагелі, цеоліти, а також інші групи природних мінералів (глина, торф, сапропель) і синтетичних речовин (наприклад, відходиполиетилентерефталату, термопластів тощо), деякі відходи виробництва (зола, шлаки, тирса, коксова дрібниця). При виборі адсорбентів для очищення стічних вод враховується їх вартість. Як правило, вартість природних сорбентів (невуглецевої природи, наприклад, природні мінерали) значно нижче в порівнянні зі штучними.

Адсорбенти бувають непористі та пористі. Непористі – тонко розмелені матеріали, з розміром часток порядку сотні нм, питомою поверхнею від долей одиниці до сотень м²/г (каолін, сульфат магнію інші). Пористі – мають систему пор (каналів), які можуть бути з'єднані між собою, мати різну форму та розміри. Питома поверхня – до 1000 і більше м²/г. Наприклад, 1 см³ пористого кремнезему має площу біля 90 м².

На даний час найбільш ефективним і універсальним адсорбентом, який часто використовується для очищення стічних вод, є активоване вугілля різних марок. Активоване вугілля – пористий промисловий адсорбент, більшу частину якого становить вуглець. Значна адсорбційна здібність активованого вугілля обумовлюється сильно розвинутою поверхнею та пористістю. Питома площа поверхні активованого вугілля коливається в діапазоні від 400 до 1800 м²/г, апористість становить 60...75 %.

Активовані вугілля повинні мати певні властивості: слабо взаємодіяти з молекулами води і добре з органічними речовинами. Бути великопористими, щоб їх поверхня була доступна для органічних молекул. При малій тривалості контакту з водою вони повинні мати високу адсорбційну ємність, високу селективність і малу утримуючу здатність при регенерації. Вугілля повинні бути міцними, швидко змочуватися водою, мати певний гранулометричний склад.

У процесі очищення використовують дрібнозернисті адсорбенти з частками розміром 0,25...0,5 мм і високодисперсні вугілля з частинками роз-

міром менше 40 мкм. В той же час їх розмір для очистки стічних вод може сягати 5 мм, питомий обсяг пор – до 2 см³/г. Насипна щільність, а також всі перераховані вище показники можуть змінюватися залежно від марки активного вугілля. Наприклад, 1 г активованого вугілля з площею поверхні пор 800...900 м² може поглинути до 0,5 г речовини.

Пори можуть відрізнятися за формою (циліндричні, щілиноподібні та ін.) і розміром. За розміром (радіусом) пори розрізняють:

- макропори – більше 50 нм (>500 Å);
- мезопори – 2–50 нм (20...500 Å);
- мікропори – менше 2 нм (<20 Å).

Розміри мікропор з радіусом менш 0,6 нм (6 Å) часто дорівнюють розмірам адсорбованих молекул. Якщо для мікропористого адсорбенту характерні пори строго певних розмірів, то всередину його можуть потрапити лише ті молекули, діаметр яких менший або дорівнює ширині пор застосованого адсорбенту. Такі адсорбенти називають *молекулярними ситами*. Наприклад, до молекулярних сит відноситься цеоліт – кристалічний алюмосилікат з правильною і рівномірною структурою пор у кристалічній структурі.

Розмір пор адсорбенту має велике значення, оскільки пов'язаний з розмірами молекул адсорбату. Великі молекули не мають можливості потрапити крізь вузькі пори адсорбенту, як наслідок, процес адсорбції дуже уповільнюється.

Основними характеристиками сорбентів є питома поверхня, розподіл пор за розмірами, їх розмір і обсяг.

Речовину, яка присутня в тій чи іншій фазі та здатна адсорбуватися, називають *адсорбтивом*. У процесі адсорбції відбувається утримання та ущільнення молекул речовини на поверхні адсорбенту за рахунок сил молекулярного тяжіння і концентрування домішки на межі поділу адсорбент – рідина (рис. 1).

Процес, зворотний адсорбції, тобто процес відриву частинок адсорбату від поверхні адсорбенту, називають *десорбцією* (рис. 2).

Розрізняють адсорбцію фізичну і хімічну або хемосорбцію. Порівняльна характеристика фізичної та хімічної адсорбції дана в таблиці 1.

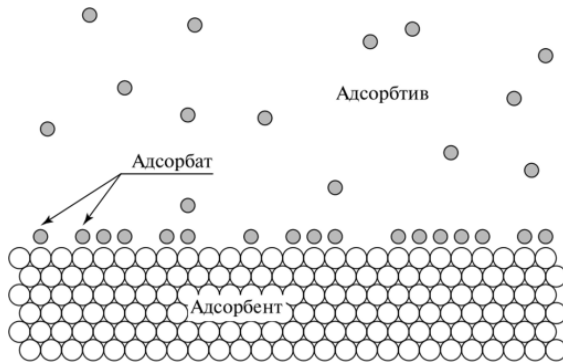


Рис.1. Умовне зображення процесу адсорбції

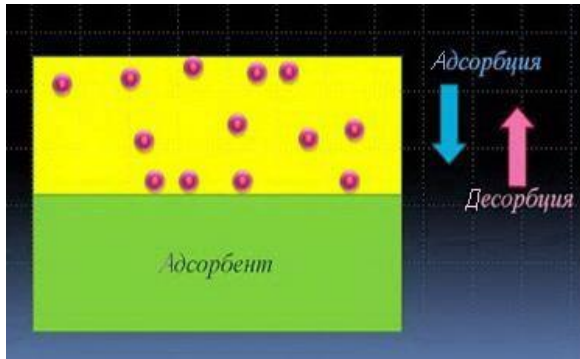


Рис. 2. Умовне зображення процесу десорбції

При *фізичній адсорбції* молекули адсорбата зберігають свою індивідуальність і утримуються на поверхні адсорбенту під впливом сил Ван-дер-Ваальса.

При *хемосорбції* частинки адсорбату та адсорбенту пов'язані більш міцними силами за рахунок хімічної взаємодії, яка виникає між ними, що приводить до утворення на поверхні розділу нової речовини.

Одним з основних параметрів, за якими розрізняються ці явища, є тепловий ефект. Так, тепловий ефект фізичної адсорбції зазвичай близький до теплоти зрідження адсорбату, а тепловий ефект хемосорбції значно вищий. Крім того, на відміну від адсорбції, хемосорбція зазвичай є незворотною і локалізованою, тобто відбувається на певних місцях – активних центрах.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика фізичної та хімічної адсорбції

№ п/п	Фізична адсорбція	Хемосорбція
1	Обумовлена силами Ван-дер-Ваальса (фізичними силами)	Обумовлена силами хімічної взаємодії
2	Енергія взаємодії 10–40 кДж/моль	Енергія взаємодії 40–400 кДж/моль
3	З підвищенням температури часто зменшується (переважає процес десорбції)	Підвищення температури сприяє процесу хімічної адсорбції
4	Мало специфічна, слабо залежить від природи адсорбенту	Специфічна, часто виникають хімічні зв'язки на поверхні
5	Зворотна	Часто має незворотній характер
6	Не локалізована (молекули адсорбату здатні переміщатися по поверхні адсорбенту)	Локалізована (молекули адсорбату зв'язані з адсорбентом за рахунок міцних хімічних зв'язків)

Незалежно від природи адсорбційних сил на величину адсорбції впливають такі фактори: природа поглинаючої речовини, температура, тиск і домішки в фазі, з якої поглинається речовина.

Криву залежності величини адсорбції T від рівноважних концентра-

цій C або тисків P адсорбату при постійній температурі t° називають *ізотермою адсорбції*: $T = f(C)$ або $T = f(P)$, при $t^\circ = \text{const}$.

Якщо у системі «адсорбат – адсорбент» при заданих умовах процесу швидкість адсорбції дорівнює швидкості десорбції, стан системи називають *адсорбційною рівновагою*, а концентрацію адсорбенту у розчині, при якій настає адсорбційна рівновага – *рівноважною*. У стані рівноваги кількість адсорбованих молекул залишається постійною скільки завгодно довго, якщо є незмінними зовнішні умови (тиск, температура і склад системи).

Величину адсорбції можна виразити декількома способами (в одиницях концентрації):

а) відношення маси або кількості поглиненої речовини до маси адсорбенту, наприклад мг/г або ммоль/г;

б) відношення маси або кількості поглиненої речовини до одиниці площі адсорбенту, наприклад мг/м² або моль/м².

Так, наприклад, для адсорбції на твердих адсорбентах *величину адсорбції* T в практичних цілях визначають по кількості адсорбату, що поглинається одиницею поверхні адсорбенту (T , мг/м²) або одиницею маси адсорбенту (T , мг/г). В останньому випадку величину адсорбції (T , мг/г) визначають за формулою (1):

$$T = V(C_0 - C_p) / m, \quad (1)$$

де V – об'єм адсорбату у розчині, дм³;

C_0 , C_p – відповідно вихідна та рівноважна концентрації забруднюючої речовини у розчині, мг/дм³;

m – маса адсорбенту, г.

1.3 Процес адсорбційного очищення води

Для адсорбції речовин з води краще використовувати гідрофобні адсорбенти, які не змочуються водою (вугілля, тальк), а з вуглеводних розчинів – гідрофільні адсорбенти, що добре змочуються водою (бентонітова

глина, силікагель).

Процес адсорбційного очищення стічних вод складається з **трьох стадій**:

- 1) перенесення речовини із стічної води до поверхні адсорбенту (зовнішня дифузія);
- 2) безпосередньо адсорбційний процес;
- 3) перенесення речовини всередині адсорбенту (внутрішня дифузія).

Адсорбційне очищення проводять в один чи декілька ступенів з допомогою фільтрування забрудненої води крізь шар адсорбенту з їх інтенсивним перемішуванням або в псевдозрідженому шарі на установках періодичної та безперервної дії (адсорбційних колонах). Рідина з початковою концентрацією розчиненої речовини омиває зерна адсорбенту і заповнює порожнечі між ними. Обсяг пустот залежить від форми, розміру зерен адсорбенту, розподілу цих зерен за розмірами і ступенем ущільнення зерен в колоні. Зазвичай останній становить 0,4–0,5 від об'єму колони. Потім починається масопереніс забруднюючої речовини – спочатку до поверхні зерен, а потім всередину зерна. При цьому його молекули адсорбуються.

При русі розчину крізь шар адсорбенту від входу колони до її виходу концентрація речовини змінюється від вихідної C_0 на вході до $C = 0$ на виході. Надалі концентрація на виході зростає, і після того, як вона стане вище гранично допустимого значення, процес адсорбції слід припинити і провести регенерацію сорбенту.

Вважають, що швидкість безпосередньо адсорбційного процесу велика і не впливає на загальну швидкість процесу очищення. Звідси виходить, що стадіями, які лімітують швидкість очищення стічної води, виступають зовнішня або внутрішня дифузія, або та і друга разом. Адсорбційне очищення рекомендується проводити при таких гідродинамічних режимах, коли воно лімітується швидкістю протікання третьої стадії, тобто дифузією речовин усередині адсорбенту. Останню можна підвищити, знизивши опір внутрішньої дифузійної області шляхом зміни структури адсорбенту, на-

приклад, подрібненням його зерна. Для орієнтованої оцінки, яка саме стадія адсорбційного очищення лімітує процес, рекомендується порівняти значення швидкості адсорбції $w = 1,8$ мг/г при діаметрі зерна адсорбенту $d_3 = 2,5$ мм з фактичними. При менших значеннях фактичних w і d_3 процес лімітується швидкістю протікання першої стадії, при більших – третьої.

У випадку одноступеневого очищення зниження концентрації забруднень до потрібного рівня досягають додаванням у даний об'єм води відразу усієї кількості адсорбенту. При застосуванні багатоступеневої установки на кожному ступені вводять свіжу порцію адсорбенту і знижують концентрацію забруднень поступово. Відпрацьований адсорбент відділяють відстоюванням або фільтруванням, а розчин направляють на наступний ступінь очищення. Цей засіб дозволяє досягти глибокого очищення води при менших витратах адсорбенту. Тому одноступеневе очищення використовують тільки тоді, коли мають дешевий адсорбент або адсорбент є відходом виробництва.

Ефективність адсорбційного очищення залежить від хімічної природи адсорбенту, площі адсорбуючої поверхні, її доступності, хімічної будови розчинених речовин, їх стану у розчині, присутності інших домішок у розчині, температури та тиску процесу адсорбції.

1.4 Регенераційний та деструктивний методи адсорбційного очищення стічних вод

1. Методи регенерації (рекуперації) адсорбенту.

Для вилучення адсорбованих речовин можуть бути використані такі способи: екстрагування органічним розчинником, зміна ступеня дисоціації слабкого електроліту в рівноважному розчині, відгонка адсорбованої речовини з водяною парою, випаровування адсорбованої речовини струмом інертного газоподібного теплоносія. В окремих випадках здійснюють хімічні перетворення адсорбованих речовин з подальшою десорбцією.

Наприклад, легколеткі органічні речовини (бензол, нітробензол, толуол, етиловий спирт) десорбуються повітрям, інертними газами, перегрі-

тою парою. При цьому температура повітря повинна бути 120 ... 140, перегрітої пари – 200 ... 300, димових або інертних газів – 300 ... 500 °С. В якості десорбентів можуть використовуватися низько киплячі, що легко переганяються з водяною парою, органічні розчинники: бензол, бутилацетат, дихлоретан, толуол та ін. Процес десорбції здійснюється при нагріванні або на холоді. Потім розчинник відганяється з адсорбенту гострою водяною парою або іншим теплоносієм. Після десорбції пари конденсують і речовину вилучають з конденсату.

2) Деструктивні методи

При деструктивному очищенні зазвичай використовують термічні або окислювальні методи.

2. МАТЕРІАЛИ І ПРИЛАДИ

Адсорбційні властивості активованого вугілля досліджують на прикладі очищення води, яка забруднена метилоранжем різної концентрації.

При дослідженні застосовуються наступні матеріали та прилади:

- активоване вугілля;
- технологічні терези;
- конічні колби об'ємом 300 мл;
- мірні колби об'ємом 100 мл;
- розчини метилоранжу різної концентрації;
- лабораторний фотоелектричний колориметр;
- дистильована вода;
- піпетки;
- фільтрувальний папір.

3. ДОСЛІДЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ ЗАБРУДНЕНОЇ ВОДИ

В якості речовини, яка забруднює воду, будемо використовувати розчини метилоранжу різної концентрації, в якості адсорбенту – активоване вугілля. Уточнену концентрацію кожного розчину води з метилоранжем різної початкової концентрації визначають на лабораторному фотоелектричному колориметрі (принцип дії приладу дивись у лабораторній роботі «Вивчення фізичних показників якості води»).

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися із змістом роботи та приладами
2. На технологічних терезах зважити п'ять наважок активованого вугілля по 0,1 г.
3. Наважки активованого вугілля висипати по одній у п'ять конічних колб об'ємом 300 мл і, зафіксувавши час по годиннику, влити у кожен колбу по 100 мл розчину метилоранжу з різною вихідною концентрацією C_0 , мг/дм³: 0,5; 1,0; 2,5; 10; 15 відповідно.
4. Вміст колб перемішати і перемішувати далі кожні 10 хвилин протягом 40 хвилин від початку контакту вугілля з розчином метилоранжу.
5. Доки встановлюється адсорбційна рівновага, визначити уточнену концентрацію кожного вихідного розчину. Для цього вихідні розчини метилоранжу по черзі налити у робочу кювету лабораторного фотоелектричного колориметру і оцінити їх оптичну густину.
6. Розчини метилоранжу з концентрацією 10 та 15 мг/дм³ потрібно попередньо розвести: перший у чотири рази, другий – у десять разів. Це пов'язано з робочим діапазоном приладу. Для розведення взяти за допомогою піпетки 25 мл розчину з концентрацією 10 г/дм³ та 10 мл розчину з концентрацією 15 мг/дм³ і перенести їх у мірні колби на 100 мл, а потім довести об'єми цих розчинів до 100 мл дистильованою водою.
7. Оцінити оптичну густину вихідних розчинів, визначити їх концентрації за калібрувальною кривою. Вихідні концентрації четвертого та

п'ятого розчинів будуть відповідно у чотири та десять разів більше концентрацій, визначених за калібрувальною кривою.

8. Через 40 хвилин від початку адсорбції відфільтруйте розчини у конічні колби і визначте у фільтрах рівноважну концентрацію метилоранжу тим самим засобом, яким була визначена вихідна концентрація.

9. Розрахувати за формулою (1) величину адсорбції T в умовах даного експерименту для кожної вихідної концентрації метилоранжу. Отримані дані занести у таблицю 2.

10. За результатами досліду побудувати ізотерму адсорбції – графік залежності величини адсорбції метилоранжу активованим вугіллям T від рівноважної концентрації C_p : $T = f(C_p)$ при $t^0 = \text{const}$.

Таблиця 2 – Результати дослідження величини адсорбції розчинів

Номер досліду	Вихідні значення		Рівноважні значення		Величина адсорбції T , мг/г
	Оптична густина розчину метилоранжу D_o	Концентрація розчину метилоранжу C_o , мг/дм ³	Оптична густина розчину метилоранжу D_p	Концентрація розчину метилоранжу C_p , мг/дм ³	
1					
2					
3					
4					
5					

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про роботу повинен включати:

1. мету роботи;
2. розрахункову формулу;
3. результати вимірювань та розрахунків у вигляді таблиці;
4. побудовану за результатами розрахунків ізотерму адсорбції;
5. аналіз результатів та висновки.

Контрольні запитання

1. З якою метою використовують процеси адсорбції?
2. Які переваги адсорбційного методу в порівнянні з іншими відомими вам методами очищення стічних вод?
3. Що таке адсорбція, адсорбат і адсорбент?
4. Які матеріали використовують в якості адсорбентів?
5. Які ви знаєте види адсорбції? Чим вони відрізняються?
6. В яких одиницях вимірюється величина адсорбції і якими способами її можна визначити?
7. Що таке «ізотерма адсорбції»?
8. Коли у системі «адсорбат – адсорбент» настає стан адсорбційної рівноваги?
9. Назвіть три стадії процесу адсорбції.
10. Від яких факторів залежить ефективність адсорбційного очищення стічних вод?
11. Чим одноступеневе адсорбційне очищення стічних вод відрізняється від багаступеневого?
12. Чим відрізняється регенеративне очищення стічних вод від деструктивного?

Список джерел інформації

1 Березуцький В. В. Екологія: навч. посіб. /В. В. Березуцький, Л. А. Васьковець, О. М. Древаль; за ред. проф. В. В. Березуцького. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2016. – 420 с.

2 Конспект лекцій для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання «Основи екології» /В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Н. П. Вершиніна та ін.; за ред. доц. О. М. Древаля. – Харків : ХДПУ. – 2001.– 84 с.

3 ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація: Проектування зовнішніх мереж та споруд. Основні положення проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2013.

4 Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов. – 4-е изд., перераб. и доп.– Москва, 2006. – 704 с.

5 Когановский А. М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водо-подготовки и очистки сточных вод /А. М. Когановский. – Киев :Наукова думка, 1983. – 240 с.

6 Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, М. . Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.

7 Никифоров И. А. Адсорбционные методы в экологии :учебное пособие /И.А. Никифоров. – Саратов : СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2011. – 45 с.

8 Юдаков А. . Новые недорогие эффективные сорбенты для очистки сточных и льяльных вод от органических загрязнений /А А. Юдаков, Т. В. Ксеник, В. П. Молчанов // Вестник ДВО РАН, – 2009. – №2. – С. 59–63.

9 Бухарева Е. А. Исследование сорбционных свойств материала на основе полиэтилентерефталата для очистки сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов /Е. А. Бухарева, Е. А. Татаринцева, Л. Н Ольшанская // XXI век : итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2014. – №1(17). – С. 118–122.

10 Сорбенты для очистки сточных вод /Н. А. Собгайда, Л. Н. Оль-

шанская, Ю. А. Тарушкина, Т. В. Никитина // Экология и промышленность России. – 2007. – №10. – С. 32-33.

11 Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды /А. Д. Смирнов.– Ленинград : Химия, 1982. – 168 с.

12 Физическая и коллоидная химия /В. И. Кабачный, Л. К. Осипенко, Л. Д. Грицан и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харків : Изд-во НФаУ, 2010. – 432 с.

13 Кузубова Л. И. Очистка нефтесодержащих сточных вод / Л. И. Кузубова, С. В. Морозов. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН. – 1992. – 72 с.

14 Адсорбція. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D1%86%D1%96%D1%8F>

15 Структура молекулярного сита та загальні типи. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://ua.fcchemicals.com/news/molecular-sieve-structure-and-common-types-27281446.html>

16 Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод : Учебник для вузов /Г. И. Николадзе. – Москва : Высшая школа, 1987. – 479 с. :ил.

17 Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды : Учебник для вузов /А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1989. – 512 с.: ил.

18 Лурье Ю.Ю. Химия промышленных сточных вод /Ю. Ю. Лурье.– Москва : Химия, 1984. – 448 с. : ил.

19 Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды /Л. А. Кульский. – 4-е изд., перераб. и дополн. – Киев : Наукова думка, 1983. – 527 с. :с ил.

ЗМІСТ

1. Адсорбційне очищення води від забруднюючих речовин.....	3
1.1 Загальні положення.....	3
1.2 Загальні відомості про процес адсорбції та його практичне значення.....	4
1.3 Процес адсорбційного очищення води.....	9
1.4 Регенераційний та деструктивний методи адсорбційного очищення стічних вод.....	11
2. Матеріали і прилади.....	12
3. Дослідження процесу адсорбції забрудненої води	13
4. Зміст звіту.....	15
Контрольні запитання.....	15
Список джерел інформації.....	16

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«Адсорбційне очищення води від забруднюючих речовин»
з дисципліни «Основи екології»
для студентів усіх спеціальностей

Укладачі БЕРЕЗУЦЬКИЙ Вячеслав Володимирович,
 КУЗЬМЕНКО Олена Олексіївна,
 ТОЛСТОУСОВА Оксана Валеріївна
 ЛІСОГОР Олена Сергіївна

Відповідальний за випуск проф. Березуцький В. В.

Роботу до видання рекомендувала проф. Пономаренко О. І.

Редактор Ефремова М. П.

План 2020 р., поз. 122

Підп. до друку _____. Формат 60x84 1/16. Папір офсет.
Друк – різнографія. Гарнітура Times NewRoman. Ум. друк. арк. _____
Наклад 10 прим. Зам. № _____. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Виготовлювач : ФОП Панов А. М.
Свідоцтво серії ДК № 4847 від 06.02.2015 р.
М. Харків, вул. Жон Мироносиць, 10, оф. 6
Тел. +38(057)714-06-74, +38(050)976-32-87
copy@vlavke.com