

ЗМІСТ

	стор.
Перелік умовних позначень.....	10
Вступ.....	11
1 Огляд літератури за темою і вибір напрямку досліджень.....	14
1.1 Похідні фенолу та їх вплив на оточуюче середовище.....	14
1.2 Методи очищення стічних вод від органічних речовин.....	16
1.2.1 Деструктивні методи очищення.....	16
1.2.2 Регенераційні методи очищення.....	21
1.3 Біосорбційне очищення стічних вод від похідних фенолу на активованому вугіллі.....	22
1.4 Основи регенерації відпрацьованого активованого вугілля.....	27
1.5 Регенерація активованого вугілля, насиченого похідними фенолу.	28
1.5.1 Термічна регенерація АВ від похідних фенолу.....	29
1.5.2 Хімічна регенерація АВ від похідних фенолу.....	31
Висновки до 1 розділу.....	33
2 Об'єкти та методи дослідження.....	36
2.1 Об'єкти дослідження.....	36
2.1.1 Активоване вугілля.....	36
2.1.2 Похідні фенолу.....	38
2.2 Методи дослідження.....	39
2.2.1 Визначення структурно-сорбційних характеристик адсорбента...	39
2.2.2 Методика визначення 2-нітрофенолу у водному розчині.....	39
2.2.3 Методика насичення активованого вугілля 2-нітрофенолом.....	41
2.2.4 Перевірка насичення активованого вугілля 2-нітрофенолом.....	42
2.2.5 Десорбція 2-нітрофенолу з КАВ водою.....	43
2.2.6 Хімічна регенерація відпрацьованого активованого вугілля.....	45

2.2.7	Хімічна регенерація лабораторного біосорбційного фільтру.....	46
2.2.8	Біологічна регенерація активованого вугілля.....	48
2.2.9	Методика визначення нітратів.....	51
2.2.10	Методика визначення нітритів.....	52
2.2.11	Методика визначення розчиненого кисню.....	52
2.2.12	Методика визначення адсорбційної активності адсорбентів за йодом.....	53
3	Результати та їх обговорення.....	54
3.1	Структурно-адсорбційні характеристики АВ.....	54
3.2	Десорбція 2-нітрофенолу з АВ водою.....	55
3.3	Хімічна регенерація вугілля.....	57
3.3.1	Регенерація КАВ гідроксидом натрію.....	57
3.3.2	Хімічна регенерація біологічно активного вугілля.....	60
3.3.3	Вплив температури на ефективність хімічної регенерації в статичних умовах.....	62
3.3.4	Регенерація лабораторного біосорбційного фільтра.....	64
3.4	Біологічна регенерація вугілля.....	66
3.5	Оцінка достовірності спектрофотометричного аналізу визначення 2-нітрофенолу.....	72
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	74
4.1	Охорона праці.....	74
4.1.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці.....	74
4.1.1.1	Повітря робочої зони.....	74
4.1.1.2	Лабораторне освітлення.....	77
4.1.1.3	Захист від виробничого шуму та вібрації.....	78
4.1.1.4	Випромінювання.....	78

4.1.1.5	Електробезпека.....	78
4.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
4.2.1	Атестація робочих місць.....	80
4.2.2	Пожежна безпека.....	81
4.2.3	Безпека проведення експериментальної частини НДР.....	82
4.2.4	Аналіз небезпеки об'єкта.....	83
	Оцінка хімічної обстановки на машинобудівному заводі.....	84
	Висновки.....	87
	Перелік посилань.....	90
	Додаток А.....	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

2-НФ	2-нітрофенол
АВ	активоване вугілля;
БАВ	біологічно активоване вугілля на основі КАВ;
ГДК	гранично допустима концентрація;
КАВ	кісточкове активоване вугілля
у.о.	умовний об'єм
ХСК	хімічне споживання кисню;
LC ₅₀	середня смертельна концентрація

ВСТУП

Забезпечення необхідної якості води в природних водоймах є одним з ключових завдань управління водними ресурсами. Особливо важливим стає розробка нових ефективних та економічно вигідних технологій очищення стічних і природних вод від токсичних органічних сполук. До цієї категорії речовин, в першу чергу, відносяться синтетичні ароматичні сполуки, які є біостійкими і складно видаляються з водного середовища.

Вибір похідних фенолу в якості об'єкта дослідження пов'язаний з тим, що вони є одними з поширених токсичних забруднень стічних вод промислових підприємств. Вони містяться в стічних водах хімічного, нафтохімічного, лісохімічного, коксохімічного, лакофарбового, текстильного виробництв, виробництва пестицидів та ряду інших. Для більшості похідних фенолів гранично допустимі концентрації встановлені на рівні сотих і тисячних часток міліграма на літр. Наявність навіть малих кількостей цих речовин у воді є досить небезпечною внаслідок здатності багатьох рослин і тварин накопичувати їх у своїх тканинах. Таким чином, проблема глибокого видалення токсичних біорезистентних ароматичних речовин зі стічної води вельми актуальна.

При цьому, значну перевагу при вилученні ароматичних органічних забрудників зі стічних вод до рівня гранично допустимої концентрації та нижче мають адсорбційні методи. Проте вартість застосування адсорбційної технології є досить високою за рахунок високої вартості адсорбенту.

В той же час відомо, що комбінування в одному апараті процесів адсорбції та біологічного окиснення органічних речовин мікроорганізмами, локалізованими на поверхні адсорбенту у вигляді біоплівки, значно подовжує термін роботи фільтрів за рахунок відновлення ємності адсорбенту. Рациональне здійснення процесу біосорбції дозволяє в кілька разів продовжити час ефективної роботи адсорбційних фільтрів, не використовуючи витратну та екологічно неприйнятну термічну регенерацію активного вугілля, видалити до безпечних концентрацій токсичні

органічні речовини з води, яка після такого очищення стає придатною для повторного використання у комунальному та промисловому водопостачанні.

Використання активованого вугілля в якості адсорбенту у процесі біосорбційного очищення води від похідних фенолу пояснюється не тільки його високою адсорбційною ємністю по відношенню до фенолів, але і тим, що вугільна пориста підкладка підвищує стійкість мікроорганізмів до дії токсикантів.

При цьому, економічна ефективність застосування адсорбційної технології залежить від можливості багаторазового використання адсорбенту. У зв'язку з цим, велике значення має вибір способу його регенерації. На сьогоднішній день, великого поширення набула термічна регенерація активованого вугілля та реактивація, що дозволяють майже повністю відновити його адсорбційну ємність. Проте, втрати вугілля при такій регенерації можуть сягати до 50 %. Окрім того, такий спосіб регенерації відбувається за високих температур, а тому потребує значних енергетичних витрат.

Таким чином, значної актуальності набуває дослідження нових методів відновлення адсорбційної ємності активованого вугілля з тривалим терміном роботи від похідних фенолу з використанням низькотемпературної хімічної та біологічної регенерації. Дослідження цих процесів сприятиме розробленню технології регенерації біологічно активного вугілля безпосередньо в адсорберах, що на сьогоднішній день зазвичай виробляються з сучасних полімерних матеріалів, що не витримують температури вище 35 – 50 °C.

Отже, метою роботи є дослідження закономірностей процесів регенерації активованого вугілля з використанням хімічних реагентів, а також регенерації з використанням мікроорганізмів здатних розкладати похідні фенолу, визначення ефективності обох видів регенерації адсорбенту та їх порівняння.

Для досягнення вищевказаної мети були поставлені та вирішенні наступні завдання:

- дослідити структурно-адсорбційні характеристики активованого вугілля, що застосовується для видалення похідних фенолу зі стічних вод;

- вивчити закономірності процесу хімічної регенерації активованого вугілля з використанням гідроксиду натрію;
- визначити вплив умов проведення процесу хімічної регенерації адсорбенту, таких як концентрація гідроксиду та температура регенерації, на загальну ефективність вилучення адсорбтиву;
- дослідити закономірності біорегенерації активованого вугілля та визначити внесок процесів десорбції та біодеструкції в загальну ефективність даного виду регенерації адсорбенту.

Виконання дослідження проводилось в науково-дослідницькій лабораторії Відділу сорбції і біології очистки води Інституту Колоїдної Хімії та Хімії Води НАН України.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ І ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Похідні фенолу та їх вплив на оточуюче середовище

Фенол та його похідні відносяться до високонебезпечних сполук 2-го класу небезпеки. Наявність замісників у складі молекули фенолу призводить до ускладнення процесу мінералізації ароматичного кільця, отже, і до погіршення очищення стічних вод. При цьому фенольні стічні води відрізняються своїм різноманіттям. До них в першу чергу відносяться стічні води процесів термічної переробки твердого палива, де феноли утворюються в значних кількостях в якості побічного продукту. Так само варто відзначити процеси отримання синтетичних фенолів і процеси їх переробки, зокрема, виробництва фенолформальдегідних смол і лакофарбових матеріалів. Стічні води вказаних виробництв є основною причиною забруднення водойм похідними фенолу [1, 2].

Нітрофеноли є токсичними та біостійкими органічними речовинами з ефектом інгібування росту мікроорганізмів. Нітроароматичні сполуки використовують у виробництві барвників, фотохімікатів, пестицидів, вибухових речовин, для обробки дерев [3]. У таких галузях промисловості як виробництво текстилю та пестицидів утворюється велика кількість стічних вод, що містять мононітрофеноли. Такі сполуки як 2,4-динітрофенол, 2,5-динітрофенол, 2,6-динітрофенол і 2,4,6-тринітрофенол є одними з найбільш поширених і універсальних промислових органічних речовин з широким застосуванням як пестицидів, пігментів, барвників, фармацевтичних препаратів та вибухових матеріалів [4].

Наявність навіть малих кількостей цих речовин у воді небезпечна внаслідок здатності багатьох рослин і тварин накопичувати їх у своїх тканинах. Цей процес може призвести до незворотних екологічних наслідків через його повторення на декількох рівнях в ланцюгу харчування. В організмах, що знаходяться в кінці цього ланцюга, може виявитися дуже висока концентрація токсичних речовин, що призводить до зниження їх імунітету та інших негативних ефектів.

В таблиці 1.1 наведені значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) фенолу та мінімальних концентрацій, які погіршують органолептичні властивості води [5].

Таблиця 1.1 – ГДК похідних фенолу у об'єктах господарсько-питного та культурно-побутового водокористування та мінімальні концентрації, які погіршують органолептичні властивості води

Речовина	ГДК, мг/дм ³	Концентрація, що надає воді характерний присмак та запах, мкг/дм ³
Нітрофеноли	0,06	0,1
Динітрофеноли	0,03	0,1
Хлорфеноли	0,001	0,1

Враховуючи токсичність для людей та небезпечність для оточуючого середовища більшості ароматичних сполук з різними замісниками, необхідно чітко контролювати їх вміст у водних об'єктах і застосовувати сучасні та ефективні методи очищення стічних вод.

При цьому, проблема глибокого очищення промислових стічних вод від розчинених у воді органічних речовин, зокрема фенолів, є важко вирішуваною. Це пояснюється тим, що різноманіття водневих систем за хімічним складом і умовами їх утворення та існування вимагає проведення індивідуальних досліджень у кожному конкретному випадку. Окрім того, ефективні методи очищення пов'язані з великими економічними і ресурсними витратами, використанням дефіцитних реагентів з подальшою їх регенерацією, утилізацією або захороненням відходів. Відомо, що підвищення показника очищення понад 95% призводить до збільшення витрат приблизно у 10 разів на кожен відсоток додатково поліпшеної якості очищення [6].

При виборі методу вилучення фенолів, перш за все, слід встановити хімічний склад забруднень присутніх у ній і на підставі вимог, що висуваються до очищеної

води та її обсягу, підібрати найбільш ефективний і економічно вигідний метод очищення. При цьому, необхідно розглядати принаймні дві категорії стічних вод [7]:

1. висококонцентровані за фенолом, які характерні для коксохімічної промисловості, виробництва фенолформальдегідних смол та інших галузей, вміст C_6H_5OH в яких становить від десятих до одиниць г/дм³;
2. низькоконцентровані, з вмістом фенолу 20 – 40 мг/дм³. Такі концентрації, наприклад, характерні для стічних вод виробництва плівкоутворювачів, клеїв і лаків на основі фенолформальдегідних смол.

1.2 Методи очищення стічних вод від органічних речовин

Методи глибокого очищення води від фенолів умовно можна розділити на дві групи: регенеративні і деструктивні [1].

1.2.1 Деструктивні методи очищення

До основних деструктивних методів знешкодження стічних вод від розчиненого фенолу відносяться хімічні окиснювальні методи, біологічні окиснювальні методи, електрохімічне окиснення, гідроліз тощо. Деструктивні методи застосовують у випадку неможливості або економічної недоцільності вилучення домішок зі стічних вода також коли немає необхідності повернення фенолу у виробництво.

Хімічне окиснення фенолів можна проводити з використанням активного хлору, діоксиду хлору, пероксиду водню, кисню повітря, озону тощо. Метод з використанням хлору в якості окиснювача оснований на розкладанні фенолів в результаті хлорування при 40 °С і рН середовища 8 – 9 [7]. При цьому, для окиснення 1 моль фенолу до малеїнової кислоти потрібно 16 еквівалентів активного хлору, а в присутності інших органічних домішок витрата хлору збільшується. В тої же час, при використанні озону для окиснення фенолів, його витрата залежить від концентрації фенолів і коливається у межах від 3 до 21 мг/мг фенолу. Варто відмітити, що при додаванні вапняку для корегування рН, можна суттєво зменшити

витрату озону на окиснення фенолів. Оптимальне значення рН для окиснення фенолів концентрацією менш ніж 50 мг/дм³ становить 11,4 [8].

При біологічному окисненні ароматичних сполук головним завданням є руйнування кільцевих структур. Цей метод оснований на здатності деяких видів бактерій виробляти ферменти що сприяють окисненню органічних речовин [1]. При цьому, біологічне окиснення може бути як аеробним, так і анаеробним.

В аеробних умовах у присутності молекулярного кисню, ароматичне кільце активується через моно- або діоксигеназні реакції. Модифікування і перетворення для більшості ароматичних сполук зводиться до кількох ключових метаболітів. Катехол (1,2-дігідроксібензол) і протокатехова кислота (3,4-дігідроксібензойная кислота) є найбільш загальними інтермедіатами, в які трансформується більшість ароматичних речовин. Деякі ароматичні сполуки розкладаються через гентісат (2,5-дігідроксібензойная кислота) [9]. В таблиці 1.2 представлені різні мікроорганізми, здатні до аеробної деструкції нітроароматичних сполук.

Таблиця 1.2 – Аеробна деструкція нітроароматичних сполук різними мікроорганізмами

Нітроароматична сполука	Мікроорганізм	Метаболічних шлях	Посилання
1	2	3	4
4-нітрофенол	<i>Pseudomonas</i>	Мінералізація до CO ₂	[10]
	<i>Pseudomonas fluorescence</i>	Відщеплення нітритів, мінералізація до CO ₂	[11]
	<i>Pseudomonas putida</i>	Повна деструкція з відщепленням нітритів	[12]
	<i>Arthrobacter JS 443</i>	Утворення 1,2,4-тригідроксибензолу	[6]

Продовження таблиці 1.2.

1	2	3	4
4-нітрофенол	<i>Bacillus sphaericus</i> JS905	Перетворення 4-нітрокатехола та 1,2,4-тригідроксибензолу в 3-кетoadипінову кислоту без відщеплення нітритів	[14]
3-нітрофенол	<i>Pseudomonas putida</i>	- Перетворення 3-гідроксиламінофенолу в 1,2,4-тригідроксибензол шляхом розщеплення кільця	[15]
2-нітрофенол	<i>Pseudomonas putida</i>	- Відщеплення нітритів, утворення катехолу	[16]
	<i>Acinetobacter junii</i> A8	- Перетворення в бензойну кислоту	[17]
2,4- динітрофенол	<i>Rhodococcus</i> <i>erythropolis</i>	- Використовується вуглець, азот та енергія сонця, спостерігається відщеплення нітритів та руйнування кільця	[18]
	<i>Sphingomonas</i> UG 30	- Утворення 2-нітрогідрокінону	[19]
2,6- динітрофенол	<i>Pseudomonas</i> N26-8	- Використання в якості єдиного джерела азоту	[20]

За відсутності кисню руйнування ароматичних речовин відбувається більш складно ніж при аеробному окисненні, за допомогою багатоетапного процесу за участю різноманітних ферментів. Аналіз літературних даних про анаеробні мікроорганізми [21, 22] показав, що мікроорганізми здатні використовувати молекули фенолу і його похідних в якості єдиного джерела вуглецю і енергії, в більшості своїй віднесені до родів *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*. В таблиці 1.3 представлені різні мікроорганізми, здатні до анаеробної деструкції нітроароматичних сполук.

Таблиця 1.3 - Анаеробна деструкція нітроароматичних сполук різними мікроорганізмами

Нітроароматична сполука	Мікроорганізм	Метаболічний шлях	Посилання
4-нітрофенол	Methanogenic bacteria	Повне розкладання	[23]
	Desulfotomaculum orientis	Повне розкладання	[24]
3-нітрофенол	Methanobacterium formicium	Повне розкладання	[24]
	Ralstonia eutropha	- Розкладання амінофенолів	[25]
	Гранульований анаеробний мул	- Мінералізація до метану	[26]
2-нітрофенол	Метаногенний гранульований мул	Перетворення через 2-амінофенол в неароматичні продукти	[27]
2,4-динітрофенол	Метаногенний гранульований мул	Перетворення в аміни	[27]

Варто відмітити, що лише поодинокі мікроорганізми, здатні до біодеструкції ароматичних сполук в анаеробних умовах, виділені у вигляді чистих культур. Значно більше відомостей про біодеструкцію таких сполук анаеробними мікробними спільнотами.

Біохімічне окиснення фенолів досить часто застосовується в промисловості. Ступінь видалення фенолів із стічних вод в оптимальних умовах ($t = 25 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, pH 6,5 – 7,5, відсутність отруйних для мікроорганізмів речовин) становить 85 – 90 % [8]. Порівняно з іншими методами, біохімічне окиснення має ряд переваг: даний метод не потребує витрат на вартісні хімікати, дозволяє переробляти великі кількості стічних вод різного складу. Окрім того, одночасно з фенолами відбувається деструкція й інших органічних домішок, що містяться в стоках. Але, при цьому, варто взяти до уваги те, що даний метод можливо реалізувати лише при строгому дотриманні норм технологічного режиму (pH , температури, концентрації органічних домішок, БПК і т.д.).

Електрохімічне окиснення фенолів перебігає більш енергійно у порівнянні з хімічним. Даний метод реалізують в електролізерах з паралельно розташованими електродами, до яких підводиться постійний струм. При цьому, в електролізери додається сильний електроліт, зазвичай натрію хлорид, що під дією електричного струму розкладається з утворенням хлорнуватої кислоти, яка, виділяючи атомарний кисень, окиснює фенол до оксиду вуглецю (IV), води та малеїнової кислоти [7].

Термічне парофазне окиснення ароматичних сполук полягає у випарюванні стічної води за температури 800 – 1000 $^{\circ}\text{C}$ при надлишку повітря. При цьому феноли окислюються киснем повітря при підвищених температурах. Застосування каталізаторів дозволяє понизити температуру процесу до 350–450 $^{\circ}\text{C}$. В якості каталізаторів для такого очищення використовують зазвичай алюмосилікатні носії з нанесеними на них платиною або паладієм. Суттєвим недоліком такого процесу вважають високі енерговитрати, пов'язані з переведенням стічних вод в пару. Тому цей процес доцільно застосовувати, коли існує необхідність в отриманні дуже чистої води в невеликих кількостях і для спеціальних потреб; або ж для невеликої кількості

стічних вод, що містять великі кількості органічних домішок, вилучення яких іншим методом – неможливе.

Рідкофазне окиснення проводиться киснем повітря за температури 200–325 °C і тиску до 17 МПа. При цьому окиснюється 80 – 100 % органічних речовин. Таке очищення можна проводити при широкому діапазоні концентрацій забруднюючої речовини у воді. Недоліком цього методу є складність апаратурного оформлення процесу.

1.2.2 Регенераційні методи очищення

Застосування регенераційних методів очищення стічних вод хімічних виробництв дозволяє знешкоджувати стічні води та вилучати феноли для повторного застосування. Регенераційні методи для очищення стічних вод від фенолів застосовуються в основному у виробництвах, пов'язаних з використанням великої їх кількості, головним чином для повернення в процес, для зменшення втрат сировини, реагентів, продукції.

Існують наступні регенераційні методи вилучення фенолів – екстракційна очистка, перегонка, ректифікація, адсорбція, іонообмінне очищення, зворотний осмос, ультрафільтрація, етерифікація, полімеризація, поліконденсація, біологічне очищення і переведення фенолів в малорозчинні сполуки.

Для екстракційного вилучення фенолів використовують такі розчинники як прості і складні ефіри, спирти, кетони, ароматичні вуглеводні, а також їх суміші і фракції [1]. За значенням коефіцієнту розподілення найкращими розчинниками є бутилацетат та етилацетат, для котрих даний показник становить 50. Для коксохімічних стоків при використанні екстракційного методу очищення води від фенолів з використанням бензолу, можна досягти ступення вилучення, що становить 98,6 %. При застосуванні бутилацетатного способу ступінь вилучення фенолів становить близько 94 %. До недоліків екстракційного методу можна віднести деяку складність технологічної схеми, високу вартість реагентів та досить високі втрати розчинника в процесі очищення, що становлять 0,2 – 0,5 кг на 1 м³ води.

Методом, який отримав широке промислове застосування, є випарювання, в

ході якого можна отримати концентрат і зкондесувати чисту воду з парової фази. Випарювання широко застосовується для концентрування фенолу при вмісті останнього в розчині не менше 5 – 6 %. Крім того, цей метод пов'язаний з великою витратою енергії, що робить його економічно недоцільним, особливо при очищенні низько концентрованих стічних вод.

Адсорбція є універсальним методом, що дозволяє практично повністю витягувати домішки з рідкої фази. В якості сорбентів можуть бути використані: активоване вугілля (АВ), буре вугілля, торф, зола, іоніти тощо [1]. Адсорбційне очищення ефективне у всьому діапазоні концентрацій розчиненої речовини, однак ці переваги виявляються найбільш повно порівняно з іншими методами очищення при низьких концентраціях забруднень.

1.3 Біосорбційне очищення стічних вод від похідних фенолу на активованому вугіллі

Використання вуглецевих матеріалів в процесах очищення стічних вод від органічних речовин обумовлене значною енергією вандерваальсової взаємодії адсорбат-адсорбент. У додатку А наведена таблиця з характеристиками деяких зразків активованого вугілля вітчизняного та закордонного виробництв, які найчастіше використовують для очищення природних і стічних вод [29].

На ефективність процесу адсорбційного очищення стічних вод від фенолів за допомогою вуглецевих адсорбентів значною мірою впливає структура адсорбенту. Так, наприклад, дослідження проведені в статичних умовах з використанням активованого вуглецевого волокна (АВВ), марок УВІС-АК та УВІС-АК: модифіковане наночастинками срібла, а також деревинного активованого вугілля СПДК-27МД з розміром зерен менше 1 мм та березового активованого вугілля БАВ-А з розміром зерен 0,25 – 0,35 мм, показують що, при вилученні о-нітрофенолу, п-нітрофенолу, 2,4-динітрофенолу та 2,6-динітрофенолу з концентраціями від 0,02 до 0,8 мг/дм³, для волокнистих та порошкових сорбентів адсорбційна рівновага встановлюється в 3 рази швидше ніж при використанні гранульованого активованого вугілля [30]. Результати даного дослідження наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Час досягнення рівноваги і величина ступеня вилучення нітрофенолів вуглецевими адсорбентами

Адсорбент	Адсорбат							
	о-нітрофенол		п-нітрофенол		2,4-динітрофенол		2,6-динітрофенол	
	t, хв	R, %	t, хв	R, %	t, хв	R, %	t, хв	R, %
АВВ	5	96	10	96	5	96	10	98
АВВ-Ag	5	96	10	96	5	96	10	98
СПДК-27МД	5	90	10	97	10	96	10	94
БАВ-А	15	75	20	87	30	76	30	95

В процесі адсорбційного очищення води від фенолів високі швидкості очищення досягаються за рахунок концентрування компонентів біохімічної реакції (субстрату, кисню, ферментів і мікроорганізмів) на поверхні пор сорбенту. Внаслідок цього на поверхні вугілля утворюється біоплівка з прикріплених мікроорганізмів, які вносяться в систему спеціально, або ж розвиваються самочинно при тривалій експлуатації біофільтра. При цьому, процес може бути реалізований з використанням як порошкових АВ, так і гранульованих [31].

Таким чином відбувається поєднання адсорбційних процесів з біодеструкцією адсорбату мікроорганізмами, локалізованими на поверхні адсорбенту. За допомогою суміщення цих процесів досягається не лише більш глибоке очищення води, але й відновлення адсорбційної ємності сорбенту за рахунок біодеструкції. При цьому найбільш раціональним режимом роботи адсорбційного фільтра є одночасна адсорбція і біорегенерація БАВ у фільтрі безперервної дії [32]. Даний процес отримав назву – біофільтрування.

В останні роки досить багато досліджень присвячено процесам біосорбційного вилучення фенолів із стічних вод на активованому вугіллі АВ. Вони, загалом, зосереджені на вивченні мікроорганізмів, в тому числі бактерій і грибків, які здатні

розкласти фенол та його похідні (хлор- та нітрофеноли), а також на пошуку методів інтенсифікації процесу біофільтрування.

Біоплівка являє собою стабільну екосистему. Її основою є бактеріальні клітини, позаклітинні полімери, що виробляються бактеріями (екзополімери), лізис і продукти гідролізу, приєднані органічні речовини і деякі неорганічні сполуки. Екзополімери складаються в основному з полісахаридів, білків, уронових кислот, гумінових кислот, нуклеїнових кислот та ліпідів.

Ефективність процесу біофільтрування залежить від багатьох факторів, таких як оборотність процесу адсорбції, присутність та вид мікроорганізмів, час контакту, характеристика вугілля, кількість біомаси, природа забрудника тощо [34]. На розвиток і активність біоплівки також сильно впливає і вид субстрату та матеріал опори, до якої відбувається причеплення клітин. Особливо добре себе проявляють у цьому відношенні пористі АВ, оскільки пори утворюють захищене середовище для прикріплення клітин та їх подальшого зростання. Перевагою використання АВ в якості носія біомаси є також те, що вуглецева пориста підкладка підвищує стійкість мікроорганізмів до дії токсичних речовин.

На початку процесу біофільтрування домінуючим процесом є адсорбція забруднюючих речовин, оскільки АВ має повну доступну адсорбційну ємність, а мікроорганізми тільки починають розвиватись. Подальше біофільтрування призводить до збільшення внеску біодеструктивної складової в загальну ефективність біосорбційного очищення води. Так, початок біодеструкції адсорбованих похідних фенолу проявляється при насиченні адсорбційної ємності сорбенту в межах 70%, за якою йде подальше насичення біорегенованого шару сорбенту цільовим продуктом [6].

Як зазначалося вище, природа забруднюючої речовини сильно впливає на ефективність процесу очищення. Так, дослідження [35] вказують на те, що 2,4-дихлорфенол краще адсорбується у порівнянні з фенолом. Проте, біодеструктивна складова при вилученні фенолу є більшою як при очищенні окремих розчинів, так і при очищенні суміші цих речовин. При очищенні окремих розчинів, біодеструкція забруднювача становила 76,28 % та 56,80 %, а при біосорбції

суміші цих забруднювачів – 74,46 % та 60,20 %, для фенолу та 2,4-дихлорфенолу, відповідно.

Окрім ефективності очищення, природа забрудника впливає і на режим біофільтрування [6]. Так, 2-нітрофенол та 2,4-динітрофенол мають схожу адсорбційну здатність на БАВ. Ємність БАВ за 2-нітрофенолом є дещо нижчою. Окрім цього 2,4-динітрофенол є більш біорезистентною сполукою. Тим не менш ресурс роботи шару БАВ у випадку 2-нітрофенолу в більший, ніж у випадку 2,4-динітрофенолу. Цьому сприяє менша біорезистентність 2-нітрофенолу, оскільки в такому випадку мікробна деструкція 2-нітрофенолу починається раніше, що і продовжує роботу фільтра.

Доведено, що ефективність біодеструктивних процесів на БАВ залежить від величини зміни вільної енергії адсорбції Гіббса ($-\Delta G_a$) адсорбату. Чим менше $-\Delta G_a$, тим більший внесок біодеструктивної складової в загальну ефективність адсорбційного процесу на БАВ [36]. Попередні дослідження вказують на те, що озонування сприяє зменшенню $-\Delta G_a$, за рахунок чого відбувається інтенсифікація процесу біодеструкції. Отже, озонування значно підвищує ефективність процесу біосорбції великих органічних молекул, оскільки озон трансформує органічні сполуки, кількісно визначає як загальний органічний вуглець в біологічно засвоюваний загальний органічний вуглець [37].

Окрім того, інтенсифікації процесу біосорбційного очищення стічних вод від похідних фенолу з використанням активованого вугілля в якості сорбенту значно сприяють його різноманітні модифікації. Швидкий розвиток біологічної активності на поверхні АВ може бути промотований оксидами металів, які здатні інтенсифікувати окиснювальні процеси та посилювати стійкість бактерій до шкідливих умов. Дослідження, проведені з використанням в якості сорбенту активованого вугілля, модифікованого оксидом заліза для видалення динітрофенолу та хлорфенолу вказують на те, що ефективність вилучення динітрофенолу на момент пропускання 10000 умовних одиниць об'єму для модифікованого вугілля склала на 40 % більше ніж для вихідного вугілля. При цьому ефективність вилучення модифікованим сорбентом нітро- і хлорпохідних може досягати 85 – 89 % [38].

Дослідження кінетики адсорбції 2,4-динітро-, 2-нітро- та 2-хлорфенолу показали високу швидкість їх адсорбційного вилучення з води звичайним кістчковим активованим вугіллям (КАВ) та вугіллям, модифікованим оксидом заліза (КАВ/Fe) [6]. Видалення близько 90 % органічної речовини відбувається протягом перших годин процесу. Експериментальні дані також свідчать про високу ефективність вилучення хлор- та нітропохідних фенолу з їх водних розчинів біологічно активним вугіллям у динамічних умовах. Задіяні у роботі системи на базі звичайного і модифікованого АВ за вибраних динамічних умов і режимів органічного навантаження, забезпечують відсутність цільових компонентів у фільтраті протягом десятків місяців.

В довготривалих процесах біосорбційного очищення стічних вод (0,3 – 3 роки) досягається: або більший ступінь очищення стічних вод, ніж на традиційних спорудах біохімічного очищення, або окиснення сполук, важко- або неокиснюємих при традиційному біохімічному очищенні, або ж заміна вартісної регенерації АВ. Кількість забруднюючої речовини, що вилучається АВ в процесі біосорбції, часто в 2 – 10 раз вище максимальної адсорбційної ємності АВ в статичних умовах без біологічної складової [6].

Незважаючи на високий ступінь вилучення похідних фенолу за допомогою біосорбційного очищення стічних вод з використанням вуглецевих адсорбентів та на можливість довготривалої роботи біосорбційних фільтрів, великим недоліком такого методу очищення є висока вартість АВ та великі витрати на його регенерацію. Саме тому доцільним є пошук нових ефективних методів регенерації відпрацьованого активованого вугілля з тривалим терміном роботи.

1.4 Основи регенерації відпрацьованого активованого вугілля

Висока вартість АВ і складність регенераційних процесів вимагають техніко-економічного порівняння собівартості очищення води з різними варіантами відновлення адсорбенту, починаючи з ранніх етапів попередніх досліджень і закінчуючи стабільним режимом експлуатації споруд промислового масштабу. Витрати на придбання свіжого АВ, необхідного для поповнення його втрат при регенерації або періодичну повну заміну при дезактивації, становлять від 40 до 85 % всіх витрат на очищення води, і їх частка залежить від продуктивності станції.

Відпрацьоване активне вугілля можна регенерувати декількома способами. Основні методи регенерації АВ та критерії їх оцінки наведені в таблиці 1.5 [39].

Таблиця 1.5 – Методи регенерації активованого вугілля

Метод регенерації	Призначення методу	Спосіб регенерації	Примітки
1	2	3	4
Термічна	Проводиться в спеціальних печах за температури 500 – 1000 °С без доступу кисню, найчастіше в потоці інертного газу або пари	Розкладення молекул адсорбованих речовин з утворенням суміші низькомолекулярних летких продуктів, CO ₂ , NH ₃ , N та NO _x	Відновлення адсорбційної ємності АВ до 100 %
Низькотемпературна термічна	Проводиться за температури 10 – 400 °С перегрітою парою безпосередньо в апараті	Розкладення молекул адсорбованих речовин з утворенням суміші низькомолекулярних летких продуктів, CO ₂ та H ₂ O	Відновлення адсорбційної ємності відбувається на 25 – 50 %

Продовження таблиці 1.5.

1	2	3	4
Хімічна	Обробка сорбенту газоподібними або рідкими органічними або неорганічними реагентами за температури не більше 100 °С, при якій відбувається десорбція адсорбату з реагентом	В залежності від обраного реагенту і складу адсорбата	Відновлення адсорбційної ємності до 80 %

1.5 Регенерація активованого вугілля, насиченого похідними фенолу

На сьогоднішній день для регенерації АВ, насиченого фенолом та його похідними, застосовуються усі вищеперераховані методи.

Вибір бажаної технології регенерації проводиться з урахуванням відповідності наступним критеріям [40]:

1. відсутність впливу високих температур (сучасне технологічне обладнання частково виконано з полімерних матеріалів, які можуть експлуатуватись за температури, що не перевищує 35 – 50 °С);
2. відсутність вторинного забруднення при внесенні реагенту;
3. відсутність пошкоджуючого впливу реагентів, що застосовуються, на полімерні матеріали;
4. досягнення необхідного ступеня відновлення адсорбційної ємності;
5. за необхідності, врахування повторного використання речовини, що вилучається.

1.5.1 Термічна регенерація АВ від похідних фенолу

Термічна регенерація активованого вугілля застосовується у випадку, коли немає необхідності у повторному використанні адсорбованих фенольних сполук.

Дослідження з регенерації АВ, насиченого п-нітрофенолом, трьома високотемпературними методами такими як піроліз, піроліз-газифікація та пряма газифікація дали наступні результати [41]:

1. хоча більша частина 2-нітрофенолу і вилучається протягом піролізу, але повної регенерації АВ за значенням втрати ваги не спостерігається. Цілком імовірно, що в результаті піролізу адсорбат стає частиною вуглецевої структури адсорбенту. Крім того, у процесі піролізу відбувається розвиток кисеньвмісних груп на поверхні адсорбенту. В результаті обох ефектів, початкова адсорбційна ємність вуглецю по 2-нітрофенолу не досягається;
2. газифікація з використанням CO_2 призводить до повної регенерації адсорбційної ємності АВ як у випадку піролізної газифікації, так і у випадку прямої;
3. повітряна газифікація піролізованого вуглецю призводить до руйнування пористої структури адсорбенту. Крім того, на поверхні адсорбенту закріплюється більше кисеньвмісних груп у порівнянні з піролізною регенерацією. При цьому, ступінь відновлення адсорбційної ємності є відносно низьким. В той же час при проведенні прямої газифікації повітрям спостерігається відновлення адсорбційної ємності до 90 %;
4. газифікація з використанням повітря є багатообіцяючим методом, оскільки, не дивлячись на те, що використання оксиду вуглецю (IV) дає кращі характеристики вугілля, повітря є дешевшим реагентом, при цьому температура процесу є нижчою, а тривалість регенерації – зменшується.

При цьому, піроліз проводився за температур: 300, 350, 400, 500, 575, 650, 700 та 800 °C в потоці азоту. В якості газифікуючих агентів було обрано повітря та CO_2 . Температури газифікації становили 350 та 725 °C для повітря та оксиду вуглецю (IV), відповідно.

Дослідження процесу термічної регенерації АВ, отриманого шляхом піролізу та активації іспанського бітумного вугілля, від фенолу, 2-крезолу, та 2-нітрофенолу при 827 °C в потоці інертного газу вказують на те, що фізично адсорбовані феноли вилучаються з поверхні АВ при відносно низьких температурах [42]. При повторенні

адсорбційно-регенераційного циклу до 7 разів, адсорбційна ємність зменшується на 50 % для п-крезолу і на 80 % для фенолу та нітрофенолу.

Незважаючи на високий ступінь відновлення адсорбційної ємності АВ, при виборі методу термічної регенерації варто враховувати його суттєві недоліки: неможливість проведення процесу регенерації безпосередньо в адсорбері, значні втрати АВ при дії високих температур, а також високі енерговитрати. Варто також відмітити, що при багаторазовій регенерації активованого вугілля, його адсорбційна ємність помітно зменшується в незалежності від обраного методу регенерації. Так, в роботі [42] проведена оцінка відновлення адсорбційних властивостей АВ для суміші фенолу і хлорфенолу при багаторазовій регенерації потоком повітря, нагрітого до 250 °С (10 циклів адсорбція – регенерація). Дані дослідження показали, що після десятого циклу регенерації адсорбційна ємність знижується на 27 %.

Порівняння термічних та хімічних методів регенерації АВ, насиченого ароматичними речовинами в 1997 році провели П.С. Чіанг, И.И. Чанг та Дж.С. Ву [43]. В своєму дослідженні вони використовували гранульоване активоване вугілля марки IONACD-50. Хімічна регенерація проводилась з використанням етанолу, в той час як термічна регенерація парою проводилась при температурах 900 °С та тиску 0,12 атм. Деякі з отриманих результатів наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Ефективність термічної та хімічної регенерації АВ від ароматичних сполук [43]

Адсорбат	Ефективність термічної регенерації, %	Ефективність хімічної регенерації, %
Фенол	88	81,11
2-амінофенол	78	55,20
Анілін	82	96,80
Хлоробензен	86	51,20
Нафтален	78	15,15

З отриманих даних можна зробити висновок, що для фенольних та бензольних сполук хімічна регенерація дає меншу ефективність вилучення органічних речовин із активованого вугілля, при цьому ступінь вилучення зменшується зі збільшенням молекулярної маси речовини. Задовільний ступінь хімічної регенерації можна досягнути лише для деяких із забрудників (фенол та анілін). Проте, при проведенні хімічної регенерації вдається досягти менших втрат АВ у порівнянні з термічною регенерацією, що, безумовно, є дуже великою перевагою такого методу.

1.5.2 Хімічна регенерація АВ від похідних фенолу

Хімічна регенерація АВ заснована на його обробці кислотами, лугами та органічними розчинниками за температури 70 - 90 °C [44]. Така обробка зазвичай застосовується до вугілля, за допомогою якого вилучали специфічні дорогі речовини, які необхідно або можливо повторно використати. Метод мокрого спалювання, відомий як спосіб Циммермана, заснований на окисненні адсорбованих органічних речовин киснем, розчиненим у воді, при високих температурах і тиску. Недоліком цього способу є те, що в процесі регенерації відбувається сильна корозія устаткування, яка негативно позначається на якості самого активного вугілля.

В результаті такої обробки адсорбат або десорбується без змін, або десорбуються продукти його взаємодії з регенеруючим агентом. Хімічна регенерація часто протікає безпосередньо в адсорбційному апараті. Більшість методів хімічної регенерації вузько спеціальні для адсорбатів певного типу. Десорбція органічних речовин з активованого вугілля розчинами кислот проводиться нечасто. Частіше вони використовуються в якості окиснювачів адсорбату на вулілі.

З усіх методів хімічної регенерації вугілля найбільше розповсюдження, особливо у водопідготовці, отримала обробка АВ розчинами гідроксиду і карбонату натрію.

Дослідження вугілля КАД-іонний після його тривалого використання для очищення води від фенолу при початковій концентрації 0,1 мг/дм³ вказує на те, що зниження адсорбційної ємності після чотирьох циклів адсорбції-регенерації, з

використанням 1 – 2 %-го розчину NaOH, складає 40 – 50 %. Регенерація 2,5 %-вим розчином лугу дозволяє 8 разів використовувати даний тип вугілля для дезодорації води [45].

Вугілля, відпрацьоване при очищенні стічних вод від нітро-, хлорфенолів та їх похідних, регенерують обробкою 10 %-вим розчином NaOH при 80 – 90 °C. При цьому адсорбовані феноли переводяться у відповідні феноляти, які вимиваються гарячою водою. Така обробка вугілля дозволяє утилізувати адсорбований фенол, але є рентабельною при початковій концентрації фенолу у воді більше 40 – 100 мг/дм³.

Висновки до 1 розділу

У сучасних умовах водні об'єкти відчують постійно зростаючий антропогенний вплив внаслідок відведення у них недостатньо очищених стічних вод, що містять високотоксичні органічні речовини, зокрема фенол та його похідні.

Очищення стічних вод від похідних фенолу за допомогою біосорбції на АВ дозволяє зменшити їх вміст у стічній воді до рівня ГДК та нижче. На ефективність біосорбційного очищення стічних вод впливають дуже багато факторів, таких як: природа і спорідненість адсорбату та адсорбенту, вміст забруднюючої речовини у воді, характеристики АВ, природа біоценозу, що утворює біоплівку на поверхні АВ, технологічні параметри проведення процесу (температура, швидкість фільтрування через нерухомий шар активованого вугілля тощо.). Проте, при правильному підборі режиму можливо досягти не лише високого ступеня очищення стічних вод, але й довготривалої дії біосорбційних фільтрів без регенерації АВ (0,3 – 3 роки).

При цьому, процес біосорбції складається з декількох взаємопов'язаних стадій, основні з яких: адсорбція, біодеструкція та десорбція. На початковій стадії роботи біоадсорбційного фільтра, коли біоплівка лише розвивається на поверхні адсорбенту, переважає процес адсорбції. При досягненні відпрацювання адсорбційної ємності фільтра на близько 70 %, починає переважати процес біодеструкції. Існує гіпотеза, що мікроорганізми споживають адсорбтив з пор вугілля та безпосередньо з розчину. Таким чином навколо зерен адсорбенту утворюється зворотній градієнт концентрації, що інтенсифікує процес десорбції адсорбтиву з пор вугілля. Це в свою чергу забезпечує мікроорганізми поживними речовинами, та збільшує ступінь біодеструкції. Дана гіпотеза потребує подальшого вивчення. А отже, значну актуальність сьогодні має дослідження біорегенерації активованого вугілля.

Проте, не зважаючи на довготривалість роботи біосорбційних фільтрів, настає момент, коли необхідно проводити регенерацію адсорбенту для підвищення економічної ефективності процесу та зменшення собівартості процесу. Сьогодні для регенерації активованого вугілля зазвичай використовують термічну

регенерацію, що забезпечує високий ступінь вилучення адсорбтиву, але яка пов'язана із великими енергетичними витратами, високими втратами адсорбенту, та з неможливістю повторного використання адсорбтиву. Якщо ж існує необхідність повертати адсорбат у виробництво, то застосовують хімічну регенерацію. Хімічну регенерацію АВ від похідних фенолу зазвичай проводять з використанням гідроксиду натрію за підвищених температур.

Варто відмітити, що сучасна апаратура виготовляється з матеріалів, які не витримують температуру вище 35 – 50 °С. А отже відомі методи регенерації АВ потребують вилучення адсорбенту з таких фільтрів, що викликає ряд технологічних складнощів, так само як і збільшення витрат на його регенерацію.

Для розв'язання цієї проблеми необхідно провести дослідження процесу низькотемпературної регенерації активованого вугілля з тривалим терміном роботи в процесі біосорбційного очищення стічних вод з використанням гідроксиду натрію. Це дозволить не лише зменшити витрати на регенерацію вугілля, але і збільшити загальну економічну ефективність біосорбційної технології очищення стічних вод від ароматичних сполук.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Робота була виконана в науково-дослідницькій лабораторії на базі Інституту Колоїдної Хімії та Хімії Води ім. А.В. Думанського. В процесі виконання науково-дослідної роботи мали місце шкідливі та небезпечні фактори. Передбачено використання електричної та механічної енергій.

Експериментальна частина виконана з врахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки. На основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблено заходи і засоби щодо забезпечення здорових, безпечних умов праці, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях [51].

4.1 Охорона праці

4.1.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці

4.1.1.1 Повітря робочої зони

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 була визначена категорія робіт за важкістю. Робота відноситься до легкої фізичної роботи, категорія 1б [52].

В таблиці 4.1 представлені санітарні норми допустимих та оптимальних значень параметрів мікроклімату лабораторії для вищевказаної категорії робіт у холодний та теплий період року та фактичні значення параметрів мікроклімату.

Для визначення температури повітря в лабораторіях використовувався термометр метеорологічний скляний ТМ-6, відносну вологість вимірювали гігрометром сорбційного типу ГС-210, швидкість руху повітря – кататермометром.

Таблиця 4.1 – Значення допустимих та оптимальних значень параметрів мікроклімату лабораторії

Категорія роботи	Період року	Параметр мікроклімату	Нормовані значення параметрів мікроклімату		Дані фактичних вимірювань
			оптимальні	допустимі	
1 б	Холодний	Температура, °C	21 ÷ 23	20 ÷ 24	20
		Відносна вологість повітря, %	60 ÷ 40	75	50
		Швидкість руху повітря, м/с	0,1	Не більше 0,1	0,1
	Теплий	Температура, °C	22 ÷ 24	21 ÷ 28	21
		Відносна вологість повітря, %	60 ÷ 40	60 при 20 °C	55
		Швидкість руху повітря, м/с	0,2	Не більше 0,2	0,2

Отже, як видно за таблиці 4.1, параметри мікроклімату в лабораторії відповідають допустимим параметрам за значенням температури, та оптимальним параметрам за значенням вологості та швидкості руху повітря.

З метою нормалізації мікроклімату і дотримання необхідної чистоти повітря робочої зони в лабораторії використовується періодичне провітрювання (через відкриті кватирки вікон і двері, тривалість провітрювання не менше 10 хв/год) і система центрального водяного опалювання в холодний період року. Для попередження потрапляння парів похідних фенолу у повітря робочої зони всі роботи з матеріалами виконувались у витяжній шафі.

Коротка санітарна характеристика лабораторії наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Коротка санітарна характеристика виробничих лабораторій

Науково-дослідницька лабораторія		Назва виробничої дільниці
Гідроксид натрію	2-нітрофенол	Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення
Речовини, що викликають опіки або діючі болісно на шкіру та слизові оболонки.	Похідні фенолу. Вражає шкіру, ЦНС, печінку.	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливої дії
0,5	1	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³
2	2	Клас небезпечності шкідливої речовини
Халат лавсановий, ГОСТ 12.4.103-83; взуття шкіряне, ГОСТ 12.4.137-2001; рукавички гумові технічні, ГОСТ 20010-93; окуляри захисні ПО-1, ГОСТ 12.4.013-85; респіратор фільтруючий протигазовий РПГ-67, ГОСТ 12.4.004-74; протигаз промисловий Фільтруючий протигаз ФГП-130 А або ФГП-130 БКФ по ГОСТ 12.4.121		Засоби індивідуального захисту: тип, марка, ГОСТ
При потрапленні на шкіру, вражене місце обмивають водою, нейтралізують 1-2-% розчином оцтової або лимонної кислоти. При пероральному отруєнні, п'ють 1-% розчин оцтової кислоти.	При попаданні на шкіру потрібно промити уражене місце 10 – 40 % -м етиловим спиртом. При пероральному отруєнні, спочатку промивають шлунок теплою водою, а згодом – слабким розчином перманганату калію.	Засоби доікарняної допомоги
Індикаторною трубкою		Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони

4.1.1.2 Лабораторне освітлення

Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 у лабораторії виконуються зорові роботи IVa розряду [53].

Для даної виробничої лабораторії обрано бокове двостороннє природнє освітлення. Застосовується також робоче загальнє штучнє освітлення. Для цього використовуються 2 світильники відбиваючого світла типу Рондо-2 нормального виконання на п'ять ламп розжарення типу МО.

Таблиця 4.3. – Характеристика зорових робіт і норм

Характеристика роботи зору	Розряд роботи зору	Освітленість при штучному освітленні, лк		Природнє бічне освітлення КЕО %	Суміщенє при бічному освітленні e_n^{III} %
		Норматив	Фактичне		
середньої точності	IVa	300÷500	480	1,2	0,9

Фактичне значення суміщеного освітлення складає 480 лк. Мінімальна освітленість робочої поверхні (300 ÷ 500) лк. Отже, освітленість в лабораторії задовольняє вимогам.

Для аварійного й евакуаційного освітлення передбачене застосування ламп накаливання. Світильники аварійного освітлення під'єднані до мережі незалежної від мережі робочого освітлення. Контроль освітленості здійснюється люксометром типу Ю-116 не менше 1 разу в рік, а також після ремонту приміщень. Для підтримання освітлення на оптимальному рівні 2 рази на рік виконується очищення вікон та плафонів.

Яскравість вимірюється за допомогою фотометрів.

4.1.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації

Джерелом шуму і вібрації в лабораторії є прибор OS-20 OrbitalShaker для струшування проб та сушильні шафи.

Під час проведення наукової діяльності рівень звуку не повинен перевищувати 50 дБА. Фактичне значення рівня звуку в лабораторії складає 5 дБА при роботі прибору OS-20 OrbitalShaker, а також 10 дБА при двох включених сушильних шафах. Сумарний рівень звуку складає 15 дБА. Отже, рівень звуку в лабораторії відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2-007-98.

4.1.1.4 Випромінювання

Основним джерелом теплового випромінювання в лабораторії є поверхня двох сушильних шаф. Температура зовнішніх стінок корпусу при їх використанні становить 23 °С, відповідно з ДСН 3.3.6.042 – 99 допустима температура в приміщенні в теплий період часу 13 – 23 °С та в холодний 15 – 29 °С. Отже, рівень теплового випромінювання в лабораторії відповідає необхідним нормам.

Джерела інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання в лабораторії – відсутні.

4.1.1.5 Електробезпека

В приміщенні лабораторії передбачено живлення електроустаткування від трифазної 4-провідної електричної мережі змінного струму промислової частоти із глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-82 допустимі рівні напруг дотику (U_d) і струму, який проходить через тіло людини (I_L): при нормальному режимі роботи електрообладнання $U_d=2$ В, $I_L=0,3$ мА, при аварійному – відповідно 36 В і 6 мА.

Розрахуємо ці величини для неаварійного режиму при випадковому дотику персоналу до однієї фази, вказаної вище електричної мережі і для аварійного режиму при дотику персоналу до корпусу електрообладнання.

В обох випадках струм, який проходить через тіло людини, буде однаковий і рівний:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0}$$

де $U_{\phi} = 220$ – фазна напруга, В;

$R_{\text{л}} = 2000$ – опір тіла людини, Ом;

$R_0 = 30$ – опір нейтралі заземлення, Ом.

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,8 \text{ мА.}$$

При цьому напруга дотику складе:

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 0,1098 \cdot 2000 = 219,6 \text{ В.}$$

Для забезпечення електробезпеки в лабораторії застосовують наступні заходи: занулення електроустаткування; захист електропроводки від механічних ушкоджень прокладкою проводів у металевих трубах; установка електроустаткування відповідно до умов навколишнього середовища, закриті пилонепроникні електродвигуни та світильники; захисне відключення електроустаткування; електрозахистні засоби: діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, подвійна ізоляція. Також, у відповідності з правилами захисту від статичної електрики відносна вологість в робочому приміщенні не нижче 50% (ГОСТ 12.1.005).

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Атестація робочих місць

Карта умов праці на робочому місці в науково-дослідницькій лабораторії Інституту Колоїдної Хімії та Хімії Води ім. А.В. Думанського наведена у таблиці 4.4.

Дата: 08.06.2015

Відповідальний: Васенко Л.В.

Таблиця 4.4 – Карта умов праці

N	Фактори виробничого середовища	Норматив ГДР, ГДК	Фактичне значення	Ступінь шкідливості фактора Х-балів	Тривалість за зміну	Шкідливість фактична (Хфакт), балів
1	Шкідливі хім. речовини, мг/м ³					
	2-нітрофенол (I)	1	≤ 1	-	0,8	-
	Гідроксид натрію (II)	0,5	≤ 0,5	-	0,4	-
1	Шум, дБа	50	15	-	0,8	-
2	Іонізуюче випромінювання: рівень невикористаного рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану, мкР/год	не більше 100	0	-	1	-
3	Мікроклімат у приміщенні:			-		-
	температура повітря, °С	21 ÷ 28	21	-	1	-
	швидкість руху, м/с	0,2	0,2	-	1	-
	відносна вологість повітря, %	60 ÷ 40	55	-	1	-
4	Важкість праці: робоча поза	вільна	Перебування у нахиленому положенні до 30° більше 50% часу	2	0,8	1,6
5	Напруженість праці увага(% часу зміни)	51 ÷ 75	80	1	0,8	0,8
6	монотонність: число елементів операції, що повторюється	10 ÷ 4	7	-	0,35	-
7	тривалість виконання операцій, що повторюються, хв	35	25	-	0,35	-
8	Освітленість, Лк	500 ÷ 300	480	-	0,5	-

Сумарна фактична шкідливість становить 2,4 бали [51]. Розмір доплат до тарифної ставки буде становити 8 %.

Згідно з картою умов праці на робочому місці, робоче місце підлягає раціоналізації. У кожному підрозділі наведені засоби і заходи для забезпечення здорових і безпечних умов праці та їх покращення.

4.2.2 Пожежна безпека

Приміщення лабораторії знаходиться в корпусі науково-дослідницького інституту, що є важкогорючою конструкцією, оскільки він виконаний з важкогорючих матеріалів.

В лабораторії горючими елементами є дерев'яні двері, віконні рами і прорізи, витяжні шафи. Відповідно до СНиП 2.09.02-85 приміщення, в якому знаходиться лабораторія, відноситься до категорії Г та II ступеня вогнестійкості. Протипожежні розриви при такій ступені вогнестійкості не нормуються.

Проводиться відповідний підбір будівельних матеріалів, розрахунок несучих конструкцій, елементів і будівель в цілому, які забезпечують міцність і стійкість не тільки в нормальних умовах, але й в умовах підвищеної температури, яка може виникнути при пожежі.

В лабораторії несучі елементи спроектовані негорючими з межею вогнестійкості в 1 годину.

Для гасіння виниклої пожежі передбачений внутрішній протипожежний водопровід. Первинні засоби пожежогасіння розташовані на стінах на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги і не менш 1,2 м від дверей. План евакуації знаходиться в коридорі, на них позначено місце розташування вогнегасників та пожежних гідрантів. В приміщенні лабораторії наявні плани евакуації при пожежі.

Будівля, в якій знаходиться лабораторія, захищена від прямих ударів блискавки, електростатичної та електромагнітної індукції та від заносу високих потенціалів блискавковододами стрижневого типу.

Характеристика пожежної безпеки подана в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів.
Класифікація виробництва пожежо- і вибухонебезпечності та влаштування блискавкозахисту

Речовина, хімічний склад	Агрегатний стан речовини при н.у.	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	Показники пожежо- і вибухонебезпечності			Межа легкозаймистості, % об.	Вибухо небезпека в суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія лабораторії згідно з ПБЕ	Категорія лабораторії і тип зони захисту і влаштування блискавкозахисту згідно з СН 305-77
			Температура займистості, К	Температура спалаху, К	Температура самозаймистості, К		Категорія	Група			
Дерево- гума	тв.	Горюче	210-270	210-270	260	—	—	—	Вогнегасник ВП-10	В 2	ПА
Активоване вугілля	тв.	Легкогорючий	—	425	520	—	—	—	Вогнегасники, вуглеки сл. ВВК-2, ВВК-5		
Гідроксид натрію	р.	Не горючий	—	—	—	—	—	—	—		
2-нітрофенол	р.	Горюче	260	—	355	—	—	—	Вогнегасник ВП-10		

4.2.3 Безпека проведення експериментальної частини НДР

До роботи в науково-дослідницькій лабораторії студентів допускають лише після детального інструктажу з правил безпеки та організації роботи, перевірки вміння використання первинних засобів вогнегасіння і надання невідкладної першої медичної допомоги у разі нещасних випадків під час виконання практичних робіт.

Реактиви зберігаються у фабричній упаковці з етикетками в шафах. Доступ до них дозволяється тільки особам, які відповідають за їх облік і зберігання. Кислоти

та луги зберігають окремо в витяжній шафі. Вологочутливі реактиви зберігають в герметичній тарі.

Усі роботи з отруйними речовинами, концентрованими кислотами й лугами, речовинами, які подразнюють органи дихання, та тими, що мають різкий запах, та досліди, протягом яких відбувається виділення небезпечних газоподібних продуктів, проводились у витяжній шафі, використовуючи засоби захисту (маски, окуляри, рукавички та інше).

4.2.4 Аналіз небезпеки об'єкта

Потенційними видами небезпеки при виконанні дослідження можуть бути пожежа, викид шкідливих речовин.

За масштабами потенційні аварії згідно з положенням щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій можна віднести до рівня А.

У разі виникнення пожежі потрібно відключити газ, електроприлади, витяжну вентиляцію і прибрати всі горючі речовини із зони вогню.

Необхідно вжити термінових заходів для ліквідації вогню, використовуючи вогнегасники, пісок або азбестову ковдру. У разі займання одягу необхідно накинути на потерпілого халат, азбестову ковдру, що знаходиться на видному і доступному місці.

При наданні допомоги спочатку треба усунути причину травми: відключити електромережу, погасити полум'я, видалити з рани осколки або речовину, що викликала опік, і т. д. Необхідно створити потерпілому умови для найзручнішого положення тіла і надати першу медичну допомогу.

При потраплянні кислот в очі їх необхідно негайно промити водою протягом 10 – 15 хв, потім, у разі потрапляння кислоти — 2-х %-вим розчином натрію гідрокарбонату. Після ретельного промивання очей потрібно звернутися до лікаря.

У разі отруєння викидами шкідливих речовин у повітря робочої зони потрібно негайно винести потерпілого на свіже повітря, забезпечити йому абсолютний спокій і викликати лікаря.

При ураженнях електрикою слід відключити силову електромережу і, користуючись дерев'яними чи пластмасовими предметами, звільнити потерпілого від контакту з електропроводкою. Необхідно забезпечити потерпілому повний спокій і привести його до притомності.

У разі зупинки дихання або серцебиття необхідно провести штучне дихання, непрямий масаж серця і не припиняти ці операції до повного відновлення функцій або до прибуття медичних працівників.

Оцінка хімічної обстановки на машинобудівному заводі

Вихідні дані

- Тип і маса НХР – фосген, 25 тонн
- Відстань від цеху до місця аварії (R) – 3 км.
- Характер місцевості між цехом і ХНО – відкрита.
- Ємність з НХР обвалована (площа обвалування 15 м²).
- Ступінь вертикальної стійкості повітря – ізотермія.
- Швидкість приземного вітру (V) – 2 м/с.
- Забезпеченість робітників протигазами – 60%.

1. Визначення розмірів ЗХЗ

Відповідно до вихідних даних глибина ЗХЗ для відкритої місцевості дорівнює 11,5 км. Поправочний коефіцієнт на швидкість вітру 2 м/с становить 0,71, а тому глибина ЗХЗ становить:

$$Г = 11,5 \cdot 0,71 = 8,165 \text{ км}$$

Враховуючи те, що ємність обвалована:

$$Г = \frac{8,165}{1,5} = 5,44 \text{ км}$$

Ширина ЗХЗ для ізотермії:

$$Ш = 0,15 \cdot Г = 0,15 \cdot 5,44 = 0,816 \text{ км}$$

Площа ЗХЗ

$$S = 0,5 \cdot \Gamma \cdot III = 0,5 \cdot 0,816 \cdot 5,44 = 2,22 \text{ км}^2$$

Висновок: Якщо глибина ЗХЗ – 5,44 км, а відтань до ХНО – 3 км, то цех потрапляє в ЗХЗ.

2. Визначення часу підходу хмари зараженого повітря до цеху

Час підходу зараженої хмари до цеху розраховуємо за формулою

$$t_{\text{підх}} = \frac{R}{W}.$$

Величину середньої швидкості переносу переднього фронту хмари для заданих вихідних даних:

$$W = 3 \text{ м/с}$$

Тоді, при $R = 3 \text{ км}$

$$t_{\text{підх}} = \frac{3000}{3} = 1000 \text{ с} = 16,67 \text{ хв}$$

Висновок:.. Через 16,67 хвилин після розливу почнеться зараження території цеху. За цей час треба оповістити і евакуювати населення в безпечний район .

3. Визначення тривалості зараження цеху (часу уражальної дії НХР).

Площа розливу для обвалованої ємності дорівнює площі території в середині обваловки.

$$t_{\text{вип}} = \frac{G}{S \cdot P_{\text{с}} \cdot \sqrt{M} (5,38 + 4,1 \cdot V_B)}$$

$$t_{\text{вип л}} = \frac{25}{15} \cdot \frac{8 \cdot 10^6}{140 \cdot \sqrt{99} (5,38 + 4,1 \cdot 2)} = 11,75 \text{ год}$$

$$t_{\text{вип з}} = \frac{25}{15} \cdot \frac{8 \cdot 10^6}{50 \cdot \sqrt{99} (5,38 + 4,1 \cdot 2)} = 32,89 \text{ год}$$

Висновок: Територія населеного пункту може бути зараженою на протязі 11,75 годин літом і 32,89 годин зимою. В цей час знаходитись на даній території без протигазу небезпечно.

4. Визначення можливих утрат людей, працюючих в цеху.

Для наведених вихідних даних з таблиці 6 визначаємо, що можливо ураження:

22% людей з тих, хто знаходиться в будівлі;

40% людей з тих, хто знаходиться на відкритій місцевості.

Таблиця 4.6 – Результати оцінювання хімічної обстановки на заводі

Розміри ЗХЗ			$t_{\text{підх}}, \text{хв}$	$t_{\text{ур}}, \text{год}$	Втрати, %	
Г, км	Ш, км	S, км ²			В будівлі	На відкритій місцевості
5,44	0,817	2,22	16,6	Літо 11,75 Зима 32,89	22	40

Загальні висновки

1. Визначено, що відстань від ХНО до цеху менше глибини ЗХЗ. Отже, цех потрапляє в ЗХЗ.

2. Час руху людей із ЗХЗ

$$t_{\text{рух}} = \frac{Ш}{80} = \frac{817}{80} = 10,21 \text{хв}$$

Враховуючі, що $t_{\text{нідох}} = 16,67 \text{хв}$,

$$t_{\text{нідох}} + t_{\text{рух}} + 2 \text{хв} = 10,21 + 2 = 12,21 \text{хв}$$

Отже для захисту людей буде доцільно укрити їх в сховищі.

3. Для уникнення втрат серед людей необхідно збільшити забезпеченість протигазами, розробити план евакуації людей та проводити усі необхідні заходи для підтримки сховища у готовності до укриття людей.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи було проведено аналіз літературних даних щодо методів глибокого очищення стічних вод від високотоксичних ароматичних сполук, зокрема нітропохідних фенолу. Встановлено, що адсорбція на АВ дозволяє фактично повністю вилучати з води похідні фенолів. Обмежена ємкість сорбентів вимагає вартісної терморегенерації чи заміни адсорбенту, що є економічною перешкодою для широкого впровадження методу. Біосорбція – одночасний перебіг адсорбції та біодеструкції в шарі сорбенту – дозволяє суттєво збільшити тривалість ефективної роботи адсорбційного фільтра.

Виконано дослідження кінетики десорбції 2-нітрофенолу з активованого вугілля: під впливом умов, що настають під час біофільтрування при перебігу процесу паралельної біорегенерації та в результаті спеціально проведених хімічної та біологічної регенерації біологічного АВ.

Встановлено, що ефективність паралельної біорегенерації АВ від нітропохідних фенолу під час біосорбційного процесу складає до 2 %.

Досліджено вплив концентрації гідроксиду натрію на ступінь хімічного відновлення активованого вугілля. При збільшенні концентрації з 0,01 моль/дм³ до 0,1 моль/дм³ ступінь регенерації адсорбенту зростає. При збільшенні концентрації гідроксиду до 1,0 моль/дм³ ефективність регенерації суттєво зменшується. Така залежність пояснюється деіонізацією фенолят-іонів при збільшенні концентрації гідроксиду натрію з утворенням фенолатів натрію, здатність до десорбції яких є суттєво меншою.

Встановлено, що ступінь десорбції 2-нітрофенолу з АВ, насиченого при низьких рівноважних концентраціях, та з активного вугілля з тривалим терміном роботи в біоадсорбційному шарі, мало залежав від підвищення температури регенерації з 17 °С до 35 °С. Однак підвищення температури зменшує термін досягнення рівноваги десорбції в 3 рази.

Досліджено, що ступінь хімічної регенерації АВ від НФ залежить від рівноважної концентрації насичення сорбенту. Чим менше рівноважна концентрація

відпрацювання АВ, тим нижче ефективність хімічного відновлення адсорбенту, що пояснюється первинним заповненням найбільш вузьких, але доступних мікропор з найвищою енергією адсорбції. Адсорбція в таких центрах має незворотний характер.

Встановлено, що ефективність регенерації визначається умовами насичення адсорбенту. Біологічне активне вугілля ефективніше регенерується розчином лугу, в результаті впливу регенеранта як на десорбцію нітрофенолу, так і продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, що блокують частину пор сорбенту.

Досліджено, що більше 85 – 90% рівноважно десорбованого з АВ нітрофенолу вилучається в перші 3-5 годин обробки розчином лугу.

Загальна ефективність біологічної регенерації протягом 30 днів є меншою у порівнянні з хімічною регенерацією активованого вугілля протягом 24 годин. При чому, вугілля, яке працювало в біоадсорбційному фільтрі краще піддається біорегенерації ніж вугілля, насичене 2-нітрофенолом в статичних рівноважних умовах.

Виявлено залежність ступеня деструкції 2-нітрофенолу мікроорганізмами від концентрації розчиненого кисню в регенераційному розчині. Для досягнення ефективної асиміляції адсорбтиву необхідно підтримувати рівень розчиненого кисню не нижче 6 мг/дм³, аеруючи регенераційний розчин.

Виконано хімічну регенерацію шару біологічного активного вугілля, що експлуатувався в лабораторних умовах більше трьох років. Проведені процедури з попередньої відмивки, збереження і аерації адаптованої біомаси фільтра, з наступним поверненням мікроорганізмів змішаної адаптованої культури в шар хімічно регенованого сорбенту. Короткочасна хімічна обробка, що була виконана протягом 4 годин з використанням гідроксиду натрію концентрації 0,1 моль/дм³ при 35 °С, дозволила підвищити ефективність вилучення НФ до 100% і продовжити термін ефективної роботи біосорбера на термін не менше 4-х місяців.

Спеціальні хімічні та біологічні регенерації – перспективні способи для стабілізації високої ефективності вилучення нітрофенолів нерухомими шарами біологічного активного вугілля. Необхідні подальші систематичні дослідження зі створення біосорбційних фільтрів очистки води від синтетичних органічних речовин

з використанням альтернативних терморегенерації комплексних систем хімічної регенерації та мікробної деструкції регенераційних стічних вод.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Харламович Г.Д. Фенолы [Текст]/ Г.Д. Харламович, Ю.В. Чуркин. – М.: Химия, 1974. – 376 с.
2. Вигдорович В.И. Экологическая характеристика фенола, его миграция и очистка сточных вод, содержащих оксибензол [Текст]/ В.И. Вигдорович, А.Ю. Пудовкина // ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – 2011. – №2 (33) – С. 45 – 51.
3. Kulkarni M. Efficient *Pseudomonas putida* for degradation of *p*-nitrophenol / M. Kulkarni, A. Chaudhari // Indian journal of biotechnology. – 2006. – Vol. 5, N 3. – P. 411–415.
4. Comparison of degradation mechanism of electrochemical oxidation of di- and trinitrophenols on Bi-doped lead dioxide electrode: Effect of the molecular structure / Y. Liu, H. Liu, J. Ma, X. Wang // Applied Catalysis B: Environmental. – 2009. – Vol. 91, N 1–2. – P. 284–299.
5. Беспмятников Г.П. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде [Текст]/ Г.П. Беспмятников, К.К. Богушевская, А.В. Беспмятнова, и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Химия, 1975. – 456 с.
6. Забнева О.В. Извлечение хлор- и нитропроизводных фенола из воды слоем биологически активного угля [Текст] : дис. ... канд. наук з держ. упр. : 21.06.01 : захищена 16.09.14 : затв. 27.11.14 / Забнева Ольга Владимировна. – К., 2014. – 125 с.
7. Сахарнов А.В. Очистка сточных вод и газовых выбросов в лакокрасочной промышленности [Текст]/ А.В. Сахарнов. – М.: Химия, 1971. – 144 с.
8. Гринберг А.М. Обесфеноливание сточных вод коксохимических заводов. М.: Металлургия – 1968. – 212 с.
9. Fuchs G. Anaerobic metabolism of aromatic compounds / G. Fuchs // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2008. – P. 82–99.

10. Schmidt S.K. Kinetics of *p*-nitrophenol mineralization by *Pseudomonas* sp.: effect of second substrates / S.K. Schmidt, K.N. Scow, M. Alexander // Applied Environmental Microbiology. – 1987. – Vol. 53, N 11. – P. 2617–2623.
11. Heitkamp M.A. Biodegradation of nitrophenol in an aqueous waste stream by immobilized bacteria / M.A. Heitkamp, V. Camel, T.J. Reuter, W.J. Adams // Applied Environmental Microbiology. – 1990. – Vol. 56, N 10. – P. 2967–2973.
12. Kulkarni M.A. Biodegradation of *p*-nitrophenol by *P. putida* / M.A. Kulkarni, A.B. Chaudhari // Bioresource Biotechnology. – 2006. – Vol. 97, N 8. – P. 982–988.
13. Jain R.K. Biodegradation of *p*-nitrophenol via 1,2,4-benzenetriol by an *Arthrobacter* sp. / R.K. Jain, J.W. Dreisbach, J.C. Spain // Applied Environmental Microbiology. – 1994. – Vol. 60, N 8. – P. 3030–3032.
14. Kadiyala V. A two component monooxygenase catalyzes both the hydroxylation of *p*-nitrophenol and the oxidative release of nitrite from 4-nitrocatechol in *Bacillus sphaericus* JS905 / V. Kadiyala, J.C. Spain // Applied Environmental Microbiology. – 1998. – Vol. 64, N 7. – P. 2479–2484.
15. Meulenberg R. Degradation of 3-nitrophenol by *Pseudomonas putida* B2 occurs via 1,2,4-benzenetriol / R. Meulenberg, M. Pepi, J.A.M. de Bont // Biodegradation. – 1996. – Vol. 7, N 4. – P. 303–311.
16. Zeyer J. Purification and characterization of a bacterial nitrophenol oxygenase, which converts ortho-nitrophenol to catechol and nitrite / J. Zeyer, H.P. Kocher // Journal of Bacteriology. – 1988. – Vol. 170, N 4. – P. 1789–1794.
17. Soojhawon I. Biotransformation of nitro-aromatics and their effects on mixed function oxidase system / I. Soojhawon, P.D. Lokhande, K.M. Kodam, K.R. Gawai // Enzyme and Microbial Technology. – 2005. – Vol. 37, N 5. – P. 527 – 533.
18. Lenke H. Initial hydrogenation during catabolism of picric acid by *Rhodococcus erythropolis* strain HL-24-2 / H. Lenke, H.J. Knackmuss // Applied Environmental Microbiology. – 1992. – Vol. 58, N 9. – P. 2933–2937.
19. Zablotowicz R.M. Degradation of 2,4-dinitrophenol and selected nitroaromatic compounds by *Sphingomonas* sp. UG30 / R.M. Zablotowicz, K.T. Leung, T. Albert,

- M.B. Cassidy etc. // Canadian Journal of Microbiology. – 1999. – Vol. 45, N 10. – P. 840–848.
20. Bruhn C. Nitro-substituted aromatic compounds as nitrogen source for bacteria / C. Bruhn, H. Lenke, H.J. Knackmuss // Applied Environmental Microbiology. – 1987. – Vol. 53, N 1. – P. 208–210.
21. Коробов В.В. *Bacillus Subtilis* В-1742 Д – деструктор фенола и 2,4-дихлорфенола [Текст]/ В.В. Коробов, Н.В. Жарикова, Л.Г. Анисимова, Т.Р. Ясаков, Е.Ю. Журенко, И.В. Кусова, Т.В. Маркушева // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2011. – № 3–4. – С. 52–56.
22. Fetzner S. Bacterial dechlorination / S. Fetzner // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1998. – Vol. 50, N 6. – P. 633–657.
23. Haghighi-Podeh M.R. Fate and toxic effects of nitrophenols on anaerobic treatment systems / M.R. Haghighi-Podeh, S.K. Bhattacharya // Water Science and Technology. – 1996. – Vol. 34, N 5–6. – P. 345–350.
24. Spain J.C. Biodegradation of nitroaromatic compounds / J.C. Spain // Annu. Rev. Microbiol. – 1995. – Vol. 49. – P. 523–555.
25. Schenzle A. Catabolism of 3-Nitrophenol by *Ralstonia eutropha* JMP134 / A. Schenzle, H. Lenke, P. Fischer, P. Williams etc. // Applied Environmental Microbiology. – 1997. – Vol. 63, N 4. – P. 1421–1427.
26. Sponza D.T. *p*-Nitrophenol removal in a sequential anaerobic migrating blanket reactor (AMBR)/aerobic completely stirred tank reactor (CSTR) system / D.T. Sponza, O.S. Kuscü // Proceedings of Biochemistry. – 2005. – Vol. 40, N 5. – P. 1679–1691.
27. Donlon B.A. Continuous detoxification, transformation and degradation of nitrophenols in upflow anaerobic sludge blanket (USAB) reactors / B.A. Donlon, E. Razo-Flores, G. Lettinga, J.A. Field // Biotechnology and Bioengineering. – 1996. – Vol. 51, N 4. – P. 439–449.
28. Алексеев С. Е. Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод [Текст]: дис. канд. технических наук / Алексеев Станислав Евгеньевич. – М., 2005. – 244 с.

29. Запольський А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод [Текст]: підручник / А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
30. Фазилова Г.Ф. Сорбционные параметры производных фенолов на различных углеродных материалах [Текст]/ Г.Ф. Фазилова Г.Ф., Э.Р. Валинурова, Р.М. Хатмуллина, Ф.Х. Кудашева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2013 – т.13, вып. 5 – С. 728 – 735.
31. Cecen F. Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment / F. Cecen, O. Aktas // Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2011. – 388 p.
32. Simpson D.R. Biofilm processes in biologically active carbon water purification / D.R. Simpson // Water Research. – 2008. – Vol. 42, № 12. – pp. 2839–2848.
33. Ha S.R. Competitive removal of phenol and 2,4-dichlorophenol in biological activated carbon system [Текст]/ S.R. Ha, S. Vinitnantharat // Environmental Technology. – 2010 – Vol. 21 – pp. 387 – 396.
34. Klimenko N. Bioregeneration of activated carbons by bacterial degraders after adsorption of surfactants from aqueous solutions / N. Klimenko, S. Smolin, S. Grechanyk, V. Kofanov, L. Nevynna, L. Samoylenko // Colloids and Surfaces A . – 2003. – Vol. 230, № 1–3. – pp. 141–158.
35. Клименко Н.А. Влияние природы ароматических соединений на эффективность биофильтрации через активный уголь [Текст]/ Н.А. Клименко, А.В. Синельникова, Л.В. Невинная, С.К. Смолин, Ю.В. Сидоренко, П.И. Гвоздяк // Химия и технология воды. – 2008 – т. 30, №2 – с. 171 – 183.
36. Клименко Н.А. Влияние предварительного окисления ПАВ на эффективность биосорбции на активном угле [Текст] / Н. А. Клименко, Л. В. Невинная, Ю. В. Сидоренко, О. Г. Швиденко, Ю. О. Швадчина. – К.: Химия и технология воды. – 2007 – с. 27 – 41.
37. Васенко Л.В. Дослідження впливу озонування на ефективність біосорбційного очищення стічних вод від поверхнео-активних речовин / Л.В. Васенко, С.К. Смолін, Н.А. Клименко-Мешкова. – Дніпропетровськ: VII Міжнародна

науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». – 27-29 квітня 2015. – С. 35 – 36.

38. Смолин С.К. Особенности очистки сточных вод от ароматических соединений путем биофильтрации через слой модифицированного активированного угля [Текст]/ С.К. Смолин, О.В. Забнева, А.В. Синельникова, О.Г. Швиденко // Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 286 – 288.
39. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды [Текст]/ А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
40. Суханова Т.Б. Методы регенерации активированных углей, используемых в процессах доочистки биологически очищенных нефтесодержащих сточных вод [Текст]/ Т.Б. Суханова, Ю.В. Куликова // Вестник ПГТУ /Пермский гос. техн. ун-т. – 2010. – № 1: Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – С. 25 – 31.
41. Sabio E. Thermal regeneration of activated carbon saturated with p-nitrophenol [Текст]/ E. Sabio, E. Gonzalez, J.F. Gonzalez, C.M. Gonzalez-Garcia, A. Ramiro, J. Ganan // Carbon. – 2004. - № 44. – pp. 2285 – 2293.
42. Moreno-Castilla C. Thermal regeneration of an activated carbon exhausted with different substituted phenols / C. Moreno-Castilla, J. Rivera-Utrilla, J.P. Joly, M.V. Lopez-Ramon, M.A. Ferro-Garcia, F. Carrasco-Marin // Carbon. – 1995. – Vol. 33 №10. – pp. 1417 – 1423.
43. Chiang P.C. Comparison of chemical and thermal regeneration of aromatic compounds on exhausted activated carbon/ P.C. Chiang, E.E. Chang, J.S. Wu // Wat. Sci. Tech. – 1997. – Vol. 35 № 7ю – pp. 279 – 285.
44. Горелкина А.К. Разработка технологии адсорбционной очистки сточных и природных вод от хлорфенола и фенола активными углями [Текст] : автореф. дис. канд. хим. наук : 03.00.16 / Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – Кемерово, 2006. – 18 с.

45. Соколов В.П. Адсорбционная очистка сточных вод нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на активных углях. [Текст]/ В.П. Соколов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979. – 40 с.
46. Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density / S. Lowell, J.E. Shields, M.A. Thomas, M. Thommes. – Dordrecht, South Holland, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 421 p.
47. Вячеславов А.С. Методическая разработка. Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота / А.С. Вячеславов, Е.А. Померанцева. – Москва – 2006. – 55 с.
48. Portable Datalogging Colorimeter Instrument Manual – USA. – 1997. – 616 p.
49. Адсорбція, адсорбенти та каталізатори на їх основі: Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності «Хімічна технологія неорганічних речовин» денної форми навчання / Уклад.: Іваненко І.М., Донцова Т.А. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 72 с.
50. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных. Методические указания к лабораторным работам / Уклад.: В.А. Яворский. – Москва – 2006. – 45 с.
51. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах та роботах для студентів ХТФ / Уклад.: А.Т. Орленко. – К.: КПІ, 2012. – 52 с.
52. ДСН 3.3.6.042-99 – Правила. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень – Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 56 с.
53. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення – Київ: Мінбуд України, 2006. – 76 с.
54. Ткачук К.Н. Основи охорони праці: Підручник. 21ше видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров. За ред.. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006. – 448 с.