

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Г. Б. Кожемякін, А.В. Вагін

**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ
АТМОСФЕРИ ТА ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

Практичні заняття до модулю 2
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Запоріжжя
2025

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод агломераційного виробництва та доменного виробництва

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку параметрів систем очищення стічних вод, що утворюються у процесах агломераційного та доменного виробництва; навчитися визначати основні характеристики забруднень, підбирати ефективні методи їх видалення, розраховувати продуктивність очисних споруд та оцінювати відповідність очищеної води екологічним нормам.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір технологічної схеми очищення.
3. Розрахунок споруд механічного очищення.
4. Розрахунок фізико-хімічного етапу очищення.
5. Розрахунок фільтраційного або сорбційного етапу.
6. Балансова оцінка ефективності системи.
7. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Fe, мг/л	Фен оли, мг/л	Нафтопродукти, мг/л	Допустимі концентрації, мг/л
1	Газоочистка аглофабрики	150	800	15	0.8	3.0	50
2	Охолодження доменного газу	120	700	20	0.5	2.5	40
3	Промивання транспортерів агломерату	100	900	18	0.6	1.8	50
4	Відстій після охолодження шлаку	130	650	10	0.3	2.0	30
5	Очищення води після мокрого пиловловлення	160	1000	25	1.0	3.5	60

Методичні рекомендації

- Для розрахунків об'єму відстійників застосовувати рівняння осадження частинок у ламінарному потоці.
- При проектуванні реагентного очищення використовувати дані про оптимальні дози коагулянтів ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , вапно).
- Для сорбційних процесів — визначати адсорбційну ємність активованого вугілля або цеоліту.
- Розрахунок ефективності очищення виконати окремо для кожного етапу та для системи загалом.
- Оформити результати у вигляді пояснювальної записки з розрахунками, схемою системи та висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення стічних вод у доменному та агломераційному виробництвах?
2. Які методи використовуються для очищення таких стічних вод?
3. Як розраховується об'єм відстійника або флотаційного апарата?
4. Як визначається ефективність очищення на різних етапах системи?
5. Які способи повторного використання очищених стічних вод є найдоцільнішими?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод коксохімічного виробництва та мартенівського виробництва

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку параметрів систем очищення стічних вод, що утворюються у процесах коксохімічного та мартенівського виробництв. Навчитися

аналізувати склад забруднень, визначати їх концентрації, підбирати оптимальні методи очищення та розраховувати ефективність роботи очисних споруд.

Завдання для виконання

1. Характеристика джерел утворення стічних вод.
2. Аналіз складу стічних вод.
3. Вибір технологічної схеми очищення.
4. Розрахунок механічного етапу очищення.
5. Розрахунок фізико-хімічного очищення.
6. Розрахунок біохімічного етапу очищення.
7. Підсумковий розрахунок ефективності.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Феноли, мг/л	Ціаніди, мг/л	Амонійний азот, мг/л	Нафтопродукти, мг/л
1	Охолодження коксового газу	100	800	50	5.0	40	15
2	Конденсаційні води коксохімічного виробництва	120	600	35	4.0	30	10
3	Промивні води мартенівських газів	140	7000	-	-	-	-
4	Води після мокрого очищення димових газів	150	5900	-	-	-	-
5	Промивання шлаковозів мартенівського цеху	130	850	-	-	-	52

Методичні рекомендації

- Для розрахунків відстійників використовувати умову осадження частинок у ламінарному потоці.
- При виборі реагентів враховувати кінетику реакцій нейтралізації та коагуляції

фенолів і ціанідів.

- Для біохімічного очищення розрахунок виконати на основі рівнянь кінетики розкладання органічних речовин у біореакторі.
- Визначити ефективність очищення на кожному етапі і для системи загалом.
- Оформити результати у вигляді пояснювальної записки з розрахунками, схемами і висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні забруднювачі притаманні стічним водам коксохімічного виробництва?
2. Які методи використовують для очищення води від фенолів і ціанідів?
3. Які процеси протікають у біологічних спорудах при очищенні мартенівських стічних вод?
4. Як визначається ефективність очищення у комбінованих системах?
5. Які методи утилізації шламів та осадів застосовуються у таких виробництвах?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №10

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод конверторного виробництва та електросталеплавильного виробництва

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку систем очищення стічних вод, що утворюються під час роботи конверторних та електросталеплавильних цехів. Навчитися визначати склад і властивості стічних вод, підбирати ефективні технологічні схеми очищення, проводити розрахунок споруд і оцінювати ефективність очищення відповідно до екологічних нормативів.

Завдання для виконання

1. Характеристика джерел утворення стічних вод у конверторному та електросталеплавильному виробництвах.
2. Аналіз складу стічних вод, визначення типових концентрацій забруднювачів та нормативів якості очищеної води.
3. Розроблення технологічної схеми очищення із зазначенням основних етапів та споруд.
4. Розрахунок механічного очищення (відстійники, час осадження частинок, ступінь видалення завислих речовин).
5. Розрахунок фізико-хімічного очищення (доза реагентів, об'єми ємностей, тривалість процесу).
6. Розрахунок тонкого очищення (параметри фільтра або сорбційної колони, ефективність видалення домішок).
7. Підсумкова оцінка ефективності системи та порівняння з нормативами якості стічних вод.

Індивідуальні варіанти завдань

№	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Fe, мг/л	Mn, мг/л	Cr, мг/л	Нафто-продукти, мг/л	ГДК, мг/л
1	Охолодження конверторних газів	100	900	20	1.5	0.4	3.0	0.5
2	Промивання газоочисних апаратів	120	850	25	1.0	0.3	2.0	0.5
3	Стічні води після мокрого пиловловлення	130	700	30	2.0	0.5	4.0	0.3
4	Промивання футеровки електропечей	110	800	18	1.2	0.2	2.5	0.4
5	Води після гідроочищення шлаку	140	950	22	1.8	0.4	3.5	0.5

Методичні рекомендації

- Для розрахунку осадження частинок використати закон Стокса для ламінарного потоку.
- При виборі реагентів враховувати тип домішок і їх хімічну активність.
- Для нейтралізації стічних вод застосовувати вапняне молоко або гідроксид натрію.
- Розрахунок сорбційного етапу виконати за ізотермами адсорбції (Ленгмюра або Фройндліха).
- Розрахувати ступінь очищення для кожного етапу й узагальнити дані у таблиці балансу забруднень.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення стічних вод у конверторному та електросталеплавильному виробництвах?
2. Які основні забруднювачі містяться у таких водах?
3. Які методи є найефективнішими для очищення від сполук заліза та нафтопродуктів?
4. Як розраховується ефективність механічного та фізико-хімічного очищення?
5. Які технології дозволяють повторно використовувати очищену воду у виробничому циклі?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод прокатного виробництва

Мета заняття

Закріпити знання про технологічні процеси утворення та очищення стічних вод у прокатному виробництві, сформуванати навички розрахунку параметрів систем очищення для забезпечення повернення води у замкнутий цикл або її безпечного відведення у водні об'єкти.

Завдання для виконання

1. Аналіз джерел утворення стічних вод у прокатному виробництві.
2. Визначення складу стічних вод та нормативних вимог до очищення.
3. Розроблення технологічної схеми очищення із зазначенням основних етапів і споруд.
4. Розрахунок механічного очищення (відстійники, пісколовки, ступінь видалення завислих речовин).
5. Розрахунок фізико-хімічного очищення (доза реагентів, параметри коагуляції та флотації).
6. Розрахунок тонкого очищення (фільтрація, сорбція).
7. Баланс і оцінка ефективності системи очищення.

Індивідуальні варіанти завдань

№	Джерело стічних вод	Витрата, м ³ /год	Завислі речовини, мг/л	Fe, мг/л	Нафто-продукти, мг/л	Емульсії, мг/л
1	Охолодження валків чорного прокату	120	900	15	4.0	50
2	Промивання листового металу	100	850	150	-	-
3	Зливи мастильно-охолоджувальних систем	80	1100	-	45.0	300
4	Очищення вод після травлення металу	90	950	925	-	-
5	Гідроочищення окалини	130	9000	122	4.5	15

Методичні рекомендації

- Для розрахунку осадження завислих частинок застосувати закон Стокса.
- При визначенні дози реагентів користуватися емпіричними залежностями або табличними даними.
- Для емульсійного очищення передбачити флотаційні установки або коагуляційні реактори.
- Для остаточного очищення рекомендується фільтрація через активоване вугілля або піщано-гравійні фільтри.
- Результати розрахунків подати у вигляді таблиці з порівнянням показників до і після очищення.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення стічних вод у прокатному виробництві?
2. Які домішки переважають у цих водах?
3. Які методи очищення є найефективнішими для вилучення мастильно-охолоджувальних емульсій?
4. Як розраховується ефективність роботи відстійників і флотаційних апаратів?
5. Як забезпечити повторне використання очищеної води в техн

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №12

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод гірничо-рудного виробництва та коксохімічного виробництва

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку систем очищення стічних вод гірничо-рудного та коксохімічного виробництв, визначити ефективні технологічні рішення для видалення завислих речовин, нафтопродуктів, фенолів, ціанідів, сполук амонію, заліза та важких металів.

Завдання для виконання

1. Характеристика джерел утворення стічних вод.
2. Визначення складу стічних вод.
3. Розроблення технологічної схеми очищення.
4. Розрахунок механічного очищення.
5. Розрахунок фізико-хімічного очищення.
6. Розрахунок біологічного або сорбційного етапу.
7. Оцінка ефективності системи очищення

Індивідуальні варіанти завдань

№	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Нафто-продукти, мг/л	Феноли, мг/л	Амоній, мг/л	Fe, мг/л	Ціаніди, мг/л
1	Води після збагачення руди	150	5800				1.5	
2	Води від мокрого пилопригнічення кар'єру	130	12950					
3	Стічні води коксового газового конденсату	100	700	10.0	800.0	25.0		10.5
4	Води після промивання коксового газу	120	850	57.0	966.0	230.0		10.3
5	Змішані води після гідроочищення шлаку	140	5900	5.0				

Методичні рекомендації

- Для розрахунку осадження частинок застосувати закон Стокса.
- Для видалення фенолів рекомендується використання біохімічного очищення (активний мул або біофільтри).
- Для вилучення нафтопродуктів застосовуються флотаційні апарати, нафтовідділювачі.
- Для осадження важких металів і ціанідів — нейтралізація вапном або реагентами на основі сірчанокислого заліза.
- Після реагентного очищення доцільно передбачити фільтрацію або сорбційне доочищення.

Контрольні запитання

1. Які особливості складу стічних вод гірничо-рудного та коксохімічного виробництв?
2. Які методи очищення застосовуються для видалення фенолів і ціанідів?
3. Як здійснюється реагентна нейтралізація та коагуляція?
4. Які показники характеризують ефективність очищення?
5. Як можна організувати повторне використання очищених стічних вод у виробничому циклі?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №13

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод феросплавного виробництва та вогнетривкового виробництв

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку систем очищення стічних вод феросплавного та вогнетривкового виробництв, визначити ефективні способи видалення завислих речовин, солей важких металів, кремнію, фторидів, оксидів кальцію та магнію, а також компонентів, що утворюються при охолодженні газів і промиванні пилу.

Завдання для виконання

1. Провести аналіз джерел утворення стічних вод у феросплавному та вогнетривковому виробництвах.
2. Визначити основні забруднювальні речовини та їх концентрації.
3. Розробити технологічну схему очищення стічних вод.
4. Виконати розрахунок відстійників або гідроциклонів для механічного очищення.
5. Провести розрахунок реагентної нейтралізації та коагуляції.
6. Розрахувати параметри фільтраційного або сорбційного доочищення.
7. Оцінити ефективність очищення та можливість повторного використання очищеної води у виробництві.

Індивідуальні варіанти завдань

№	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Fe, мг/л	Mn, мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	F ⁻ , мг/л
1	Очистка газів виплавки феросплавів	140	4950	25.0	53.0	120	60	2.0
2	Води після гідроочищення шлаку	130	11100	4.5	2.5	150	80	1.8
3	Очистка газів у виробництві шамоту	100	2800			180	90	
4	Очистка газів у виробництві магнезиту	120	4000			200	170	
5	Змішані стоки після пресування вогнетривів	150	3850			190	125	

Методичні рекомендації

- Для осадження завислих частинок використовувати закон Стокса.
- Для видалення сполук заліза, марганцю, кальцію та магнію — реагентне осадження із застосуванням вапна або коагулянтів.
- Для вилучення фторидів — реагентна коагуляція з алюмінієвими солями або сорбційне очищення на активованому алюмосилікаті.
- Для забезпечення стабільності складу очищених вод — передбачити рециркуляцію та доочищення на піщаних або вугільних фільтрах.

Контрольні запитання

1. Які основні види забруднень характерні для стічних вод феросплавного виробництва?
2. Які методи очищення застосовуються для видалення фторидів?
3. У чому полягає принцип дії реагентної коагуляції?
4. Як впливають властивості частинок на швидкість їх осадження?
5. Які способи повторного використання очищених вод доцільні у феросплавному виробництві?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №14

Тема: Розрахунок систем очищення стічних вод титано-магнієвого виробництва

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку систем очищення стічних вод титано-магнієвого виробництва, визначити оптимальні параметри процесів видалення хлоридів, фторидів, магнію, титану, заліза та завислих речовин, а також оцінити ефективність різних схем очищення для подальшого повторного використання води у виробничому циклі.

Завдання для виконання

1. Провести аналіз основних джерел утворення стічних вод титано-магнієвого виробництва.
2. Визначити склад і концентрації основних забруднювачів.
3. Розробити технологічну схему очищення стічних вод.
4. Виконати розрахунок механічного очищення (відстійники, гідроциклони).
5. Провести розрахунок реагентного очищення (нейтралізація, коагуляція, осадження).
6. Розрахувати параметри фільтраційного або сорбційного доочищення.
7. Оцінити ефективність очищення та можливість рециркуляції очищеної води.

Індивідуальні варіанти завдань

№	Джерело стічних вод	Витрата, м³/год	Завислі речовини, мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ti ⁴⁺ , мг/л	Fe ³⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	F ⁻ , мг/л
1	Води після промивання титанової губки	120	850	200	4.0	3.5	150	2.0
2	Води після охолодження магнієвих електролізерів	140	900	180	3.0	2.0	120	1.5
3	Води після фільтрації хлоридно-магнієвого розсолу	100	750	250	2.5	3.0	200	1.8
4	Води після очищення газів печей хлорування	130	950	220	5.0	3.5	170	2.5
5	Змішані стоки після промивання апаратури	150	1000	240	4.0	2.5	160	2.2

Методичні рекомендації

- Для осадження завислих частинок використовувати закон Стокса.
- Для видалення магнію, титану та заліза застосовувати реагентну нейтралізацію вапном або содою.
- Для вилучення фторидів і хлоридів — коагуляційно-сорбційне очищення або йонний обмін.
- Для доочищення — використати піщані, вугільні або мембранні фільтри.
- При розрахунках приймати температуру 20 °С, густину води $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$, кінематичну в'язкість $\nu = 1,01 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення стічних вод у титано-магнієвому виробництві?
2. Які особливості складу стічних вод даного виробництва?
3. Як здійснюється реагентна нейтралізація хлоридів і фторидів?
4. Які методи очищення забезпечують видалення йонів Mg^{2+} і Ti^{4+} ?
5. Як оцінюється ефективність очищення та можливість повторного використання води?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали