



### Мембранні методи очищення води

#### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

##### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>бакалавр</b>
<b>Галузь знань</b>	10 Природничі науки
<b>Спеціальність</b>	101 Екологія
<b>Освітня програма</b>	Екологічна безпека
<b>Статус дисципліни</b>	Вибіркова
<b>Форма навчання</b>	заочна
<b>Рік підготовки, семестр</b>	3 курс/6 семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	4 кредити ЕКТС (120 годин)
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	Залік
<b>Розклад занять</b>	4 години на тиждень (1 години лекційних, 1 година практичних занять та 2 години лабораторних занять)
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Лектор: <a href="https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/vizytky/qomelya-mikola-dmitrovich.html">https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/vizytky/qomelya-mikola-dmitrovich.html</a> Практичні /Семінарські: <a href="https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/vizytky/qomelya-mikola-dmitrovich.html">https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/vizytky/qomelya-mikola-dmitrovich.html</a> Лабораторні заняття: <a href="https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/shablij-tetyana-oleksandrivna.html">https://eco-paper.kpi.ua/pro-kafedru/vykladachi/shablij-tetyana-oleksandrivna.html</a>
<b>Розміщення курсу</b>	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=5377">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=5377</a>

##### Програма навчальної дисципліни

#### **1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання**

Мембранні технології відносяться до сучасних високоефективних процесів очищення води, які досить швидко прогресують, знаходячи широке застосування. Уже сьогодні значна частина населення планети отримує високоякісну питну воду із морської води та інших солоних природних вод. Метод дозволяє отримувати воду найвищої якості із найбрудніших стічних вод. Перевагою даних технологій є те, що вони дозволяють використовувати воду із будь-яких наявних джерел водопостачання і відмовлятися від будівництва дорогих водогонів на великі відстані. Прикладом може бути використання шахтних вод у вододофіцитних регіонах. Процеси електродіалізу і електролізу дозволяють переробляти засолені рідкі відходи в корисні продукти. Методи широко використовуються для доочищення водопровідної води в побутових умовах, для кондиціонування неякісних джерельних та артезіанських вод.

Мембранні технології кондиціонування та очищення води - це сучасні технології, це технології майбутнього.

**Предмет навчальної дисципліни «Мембранні методи очищення води»** – реалізація підходів, що забезпечать високоякісну підготовку природних вод, надійне очищення стічних вод, зневоднення осадів для повного переходу промислових підприємств на використання безстічних (замкнених) систем водоспоживання.

У значній мірі вирішення даної проблеми буде визначатись рівнем підготовки фахівців, які працюють у галузі охорони навколишнього середовища, включаючи установи управління екологічною безпекою держави, наукові установи та організації, підприємства.

Для успішного вирішення завдань захисту та збереження природних водних екосистем фахівці мають вільно володіти інформацією, вміти вирішувати складні проблеми захисту водою від забруднення на високому професійному рівні.

### **Мета навчальної дисципліни « Мембранні методи очищення води»**

Метою вивчення даної дисципліни є формування у студентів комплексу знань в області сучасних фізико-хімічних методів очищення води, комплексу умінь та навичок, необхідних для проведення наукових досліджень в даному напрямку, для створення сучасних технологій водопідготовки та очищення стічних вод, для кваліфікованого управління існуючими технологічними процесами. Відповідно до мети підготовка бакалаврів вимагає посилення сформованих у студентів компетентностей:

- здатність вдосконалювати, проектувати, реалізовувати та експлуатувати технології та обладнання очищення та переробки вихідних газів, стічних вод та твердих відходів;
- здатність до критичного осмислення основних теорій, методів та принципів природничих наук.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни «Мембранні методи очищення води», студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- уміти проводити пошук інформації з використанням відповідних джерел для прийняття обґрунтованих рішень;
- уміти обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення досліджень, збору та обробки даних;
- розробляти технології, використовувати процеси та апарати, що забезпечують ефективне розділення, концентрування, вилучення, деструкцію шкідливих домішок у водних системах і газових середовищах, переробку та утилізацію відходів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення дисципліни «Мембранні методи очищення води» базується на засадах інтеграції різноманітних знань, отриманих студентами протягом бакалаврату при вивченні дисциплін природничого та інженерно-технічного спрямування: «Гідрологія», «Хімія з основами біогеохімії», «Спеціальні розділи біогеохімії», «Органічна хімія», «Аналітична хімія».

Дисципліна «Мембранні методи очищення води» є фундаментальною основою для вивчення наступних дисциплін: «Технології очищення води», «Водопідготовка в промисловості та комунальних господарствах», «Механічні та біологічні процеси утилізації рідких відходів», «Проектування систем водопостачання», «Оборотні та замкнуті системи водоспоживання», «Централізовані системи водопостачання», «Проектування очисних споруд та систем водокористування», «Процеси та обладнання очищення води», «Станції водоочищення», «Ресурсоефективні водоциркуляційні системи», «Водопостачання та водовідведення найбільш водоємких підприємств», «Системи промислового водопостачання без скиду стічних вод у довкілля» та забезпечує виконання бакалаврського проекту.

## **3. Зміст навчальної дисципліни « Мембранні методи очищення води»**

### **Розділ 1. Мембранні методи очищення води**

Тема 1. Мембранні методи у водоочищенні.

Тема 2. Застосування непористих мембран. Мембранна дистиляція.

Тема 3. Ефективність мембранного очищення води.

Тема 4. Електродіаліз.

Тема 5. Характеристики іонообмінних мембран.

### **Розділ 2. Деструктивні методи очищення води**

Тема 1 Застосування хімічних окисників для очищення води.

Тема 2. Деструкція домішок у воді з допомогою кисню.

Тема 3. Електрохімічна обробка води.

Тема 4. Радіохімічне очищення води.

## **Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Радовенчик Я.В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води: підручник. – К.: Кондор-Видавництво, 2019. – 256 с.
2. Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д. Фізико-хімічні методи доочищення води. Підручник. – К.: Кондор-Видавництво, 2016. – 264 с.
3. Гомеля М.Д., Крисенко Т.В., Омельчук Ю.А. Методи та технології очищення стічних вод: Навч. посіб. / – Севастополь: Інститут ядерної енергії та промисловості, 2012. – 244 с.
4. Шаблій Т.О., Радовенчик В.М. Гомеля М. Д. Застосування нових реагентів і технологій в промисловому водоспоживанні.- К.: Інфодрук, 2014. – 302с.
5. Гомеля М. Д., Радовенчик В.М. Шаблій Т. О. Сучасні методи кондиціонування та очистки води у промисловості. -К.: Графіка, 2007. – 168 с.
6. Мембранні методи очищення води. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 101 «Екологія», 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, Ю. В. Носачова., В. В. Вембер – Електронні текстові дані (1 файл: 1,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 42 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52761>
7. Трус І.М., Галиш В.В., Скиба М.І., Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д. Нові високоефективні методи очищення від розчинних та нерозчинних поліютантів: монографія. / – К.: Кондор-Видавництво, 2020. – 272 с.

### **Додаткова література**

8. Галиш В.В., Трус І.М., Радовенчик Я.В., Флейшер Г.Ю., Гомеля М.Д. Комплексні технології очищення води від іонів важких металів: монографія. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. – 152с.
9. А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздяк, Т.В. Князькова. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра. 2000 – 551 с.
10. Трус І.М. Маловідходні технології демінералізації води: монографія. – К.: Кондор-Видавництво, 2016. – 250 с.

### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України - <https://mepr.gov.ua/>
2. Екологічний портал України – [www.ecology.com.ua](http://www.ecology.com.ua)
3. Бібліотека ім. В.І. Вернадського – [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua)
4. Електронний архів наукових та освітніх матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського – ELAKPI URL: <https://ela.kpi.ua>

**5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

**Лекційні заняття**

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни «Мембранні методи очищення води», рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- формування у студентів необхідного інтересу та визначенні напрямку для самостійної роботи;
- визначення на сучасному рівні розвитку науки в області сучасних методів та процесів кондиціонування води, прогнозування розвитку на найближчі роки;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке і адекватне їх формулювання)
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх з демонстрацією результату і зразків ;
- викладання матеріалів досліджень чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- доступність для сприйняття даною аудиторією.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	<p><b>Мембранні методи очищення води. Ефективність мембранного очищення води</b></p> <p>Очищення води мембранними методами. Загальні положення та визначення. Селективність та продуктивність мембран. Баромембранні методи.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 181-199; [9] с. 337-354.</p> <p>Завдання на СРС. Особливості очищення води на механічних фільтрах та мембранними методами. Застосування антискалантів в баромембранних процесах очищення води.</p> <p>в процесах очищення води.</p>	2
2	<p><b>Застосування непористих мембран. Мембранна дистиляція</b></p> <p>Мембранні процеси з використання непористих мембран. Діаліз, первапорація. Мембранна дистиляція. Мембрани. Одержання мембран.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 188-195; [9] с. 337-354.</p> <p>Завдання на СРС. Конструкції установок для очищення води методом мембранної дистиляції.</p>	2
3	<p><b>Електродіаліз. Характеристики іонообмінних мембран</b></p> <p>Очищення води електродіалізом. Суть методу. Іонообмінні мембрани та їх фізико-хімічні властивості. Гомогенні та гетерогенні мембрани.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 199-209; [9] с. 340-367.</p> <p>Завдання на СРС. Отримання кислот, луку та активного хлору електродіалізом. Застосування методу для переробки концентратів. Основні методи отримання іонообмінних мембран та дифузійних мембран.</p>	2
4	<p><b>Застосування хімічних окисників для очищення води. Деструкція домішок у воді з допомогою кисню</b></p> <p>Очищення води деструктивними методами. Класифікація методів. Окисно-відновні процеси з використанням хімічних речовин.</p>	2

	<i>Література: [1] с. 223-237; [2] с. 210-220; [7] с. 255-313; [9] с. 452-478. Завдання на СРС. Озонування води. Використання озонідів. Каталітичне паро фазне окислення органічних домішок у воді.</i>	
5	<b>Електрохімічна обробка води. Радіаційна обробка води</b> <i>Електрохімічне окислення води. Окислення на аноді. Електрокоагуляція, електрофорез, електрофлотація. Література: [1] с. 223-237; [2] с. 220-224; [9] с. 460-478. Завдання на СРС. Конструкції електролізерів. Джерела іонізуючого випромінювання.</i>	2
	<b>Всього</b>	<b>10</b>

## 6. Лабораторні заняття

У системі професійної підготовки студентів лабораторні заняття займають 50 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра з екології. Метою лабораторно-практичних занять є розвиток у студентів експериментальних навичок, дослідницького підходу до вивчення предмету, закріплення теоретичного матеріалу.

<i>Назва лабораторної роботи</i>	<i>Кількість аудиторних годин</i>
<i>Очищення води ультрафільтрацією</i>	1
<i>Зворотньоосмотичне знесолення розчинів хлориду та сульфату натрію</i>	1
<i>Вилучення катіонів <math>Ca^{2+}</math> та <math>Mg^{2+}</math> із застосуванням зворотньоосмотичних мембран</i>	1
<i>Очищення води озонуванням</i>	1
<i>Написання МКР</i>	2
<i>Залік</i>	2
<b>Всього</b>	<b>8</b>

## 7. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 90 % часу вивчення кредитного модуля, включаючи і підготовку до МКР та до заліку. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування наукових знань в областях, що не увійшли у перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі. У процесі самостійної роботи в рамках освітнього компоненту студент повинен навчатися глибоко аналізувати сучасні підходи до розробки та впровадження новітніх технологій кондиціонування та очищення води, виходячи із характеристик води і вимог до якості очищеної води. Він повинен вміти створювати найбільш ефективні методи очищення води.

<i>№ з/п</i>	<i>Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
<b>Розділ 1. Мембранні методи очищення води</b>		
1	<i>Очищення води мембранними методами. Загальні положення та визначення. Селективність та продуктивність мембран. Баромембранні методи. Література: [1] с. 195-221; [2] с. 181-188; [9] с. 337-354. Мембранні процеси з використанням непористих мембран. Діаліз, первапорація. Мембранна дистиляція. Мембрани. Одержання мембран. Література: [1] с. 195-221; [2] с. 188-195; [9] с. 337-354.</i>	64



	<p>Фактори, що впливають на процеси мембранного розділення води. Вплив робочого тиску, температури, природи розчинених речовин, концентраційної поляризації на роботу мембран.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 195-199; [9] с. 337-354.</p> <p>Очищення води електродіалізом. Суть методу. Іонообмінні мембрани та їх фізико-хімічні властивості. Гомогенні та гетерогенні мембрани.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 199-203; [9] с. 340-367.</p> <p>Вимоги до якості іонообмінних мембран. Характеристики мембран. Числа перенесення іонів. Селективність мембран. Електропровідність, дифузійна, осмотична та електроосмотична проникність мембран. Поляризація мембран.</p> <p>Література: [1] с. 195-221; [2] с. 204-209; [9] с. 340-367.</p>	
<b>Розділ 2 Деструктивні методи очищення води</b>		
2	<p>Очищення води деструктивними методами. Класифікація методів. Окисно-відновні процеси з використанням хімічних речовин.</p> <p>Література: [1] с. 223-237; [2] с. 210-216; [7] с. 255-313; [9] с. 452-478.</p> <p>Окислення домішок у воді з допомогою кисню. Термоокислювальні методи знешкодження стічних вод. Механізм глибокого окислення. Рідкофазне окислення.</p> <p>Література: [1] с. 223-237; [2] с. 216-220; [9] с. 460-468.</p> <p>Електрохімічне окислення води. Окислення на аноді. Електрокоагуляція, електрофорез, електрофлотація.</p> <p>Радіаційне очищення води. Іонізуюче випромінювання. Головні стадії радіолізу. Поглинена доза, радіаційно-хімічний вихід.</p> <p>Література: [1] с. 223-237; [2] с. 220-224; [9] с. 460-478.</p>	32
	Підготовка до МКР	2
	Підготовка до заліку	4
	Всього годин	102

### Забезпечення програмних результатів складовими освітнього компоненту

Програмний результат	Лекційні заняття	Практичні та лабораторні заняття, індивідуальні завдання
уміти проводити пошук інформації з використанням відповідних джерел для прийняття обґрунтованих рішень	<p><u>Лекція 1.</u> Мембранні методи очищення води. Ефективність мембранного очищення води;</p> <p><u>Лекція 3.</u> Електродіаліз. Характеристики іонообмінних мембран.</p>	
уміти обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення досліджень, збору та обробки даних	<u>Лекція 5.</u> Електрохімічна обробка води. Радіаційна обробка води.	
розробляти технології, використовувати процеси та апарати, що забезпечують ефективне розділення,	<p><u>Лекція 2.</u> Застосування непористих мембран. Мембранна дистиляція;</p> <p><u>Лекція 4.</u> Застосування хімічних окисників для очищення</p>	<p><u>Лабораторне заняття 1.</u> Очищення води ультрафільтрацією;</p> <p><u>Лабораторне заняття 2.</u> Зворотньоосмотичне</p>



5	4	120	10		8	102	1	–	залік
---	---	-----	----	--	---	-----	---	---	-------

**Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:**

- роботу на лабораторних роботах,
- написання модульної контрольної роботи.

Семестровим контролем є залік.

**Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання**

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

Виконання лабораторних робіт.

Ваговий бал за роботу складає 15 балів.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

<b>Повнота та ознаки виконання завдання</b>	<b>Бали</b>
Завдання виконане в повній мірі	15
Незначні недоліки за пунктом 1	12-14
Несвоєчасне виконання завдання	8-11
Несвоєчасне виконання завдання, недоліки за п. 1	2-7
Неякісне виконання завдання	1
Невиконання завдання	0

Модульні контрольні роботи

Контрольна робота

Ваговий бал – 40 балів.

Критерії оцінювання контрольних робіт

<b>Повнота та ознаки відповіді</b>	<b>Бали</b>
Повна відповідь	38-40
У відповіді не наведено другорядні чи залежні від основних параметри (матеріали)	30-37
У відповіді не наведено половину основних і кілька другорядних параметрів чи матеріалів	15-29
Відповідь поверхнева без аналізу параметрів, умов, матеріалів, фактів, неповні висновки	1-14
Контрольна робота не зараховане	0

Таким чином рейтингова семестрова шкала з кредитного модуля складає:

$$R = 15 \times 4 + 1 \times 40 = 100 \text{ балів}$$

Максимальна сума балів складає 100. Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг менше 0,6 R, а також ті, хто хоче підвищити загальний рейтинг, виконують додаткову контрольну роботу. Завдання контрольної роботи містять запитання, які відносяться до різних розділів кредитного модуля. Перелік запитань наведено у Розділі 11.

Завдання контрольної роботи складається з 2 запитань, що відносяться до різних тем кредитного модуля. За правильну відповідь на кожне питання студенти отримують по 5 балів. Отже, максимальна кількість балів за залікову контрольну складає 5 балів  $\times$  2 = 10 балів.

Система оцінювання окремих питань залікової контрольної роботи:

<b>Повнота та ознаки відповіді</b>	<b>Бали</b>
«Відмінно»: Повна та вірна відповідь на питання	5
«Добре»: У відповіді не наведено достатньої кількості фактів, прикладів, не зроблено висновків, або допущено окремі неточності;	4



<i>«Задовільно»: Дана часткова відповідь, конкретне формулювання законів та термінів відсутнє або допущено грубі помилки;</i>	<i>3</i>
<i>«Незадовільно»: Питання не зараховане або відсутнє</i>	<i>1-2</i>

Для отримання залікової оцінки, сума всіх отриманих протягом семестру рейтингових балів **R** переводиться згідно з таблицею:

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
RD < 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

### **10. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

#### **Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль**

1. Наведіть основні поняття та визначення мембранних методів.
2. Зробіть аналіз селективності та продуктивності мембран.
3. Наведіть класифікацію мембран.
4. Охарактеризуйте основні типи і способи одержання мембран.
5. Наведіть коефіцієнти фільтрування та відбивання.
6. Порівняйте баромембранні процеси.
7. Охарактеризуйте процес нанофільтрування.
8. Охарактеризуйте процес ультрафільтрування.
9. Охарактеризуйте метод зворотного осмосу.
10. Охарактеризуйте метод діалізу та первапорації.
11. Охарактеризуйте метод мембранної дистиляції.
12. Поясніть вплив тиску на роботу мембран.
13. Поясніть вплив температури на мембранне розділення речовин.
14. Поясніть вплив природи речовин на мембранні процеси.
15. Розкрийте поняття: концентраційна поляризація іонообмінних мембран.
16. Поясніть сутність методу електродіалізу.
17. Наведіть характеристики іонообмінних мембран.
18. Наведіть вимоги до якості іонообмінних мембран.
19. Охарактеризуйте іонообмінних мембран.
20. Зробіть аналіз селективності іонообмінних мембран.
21. Поясніть поняття: число перенесення, селективність та специфічна селективність іонообмінних мембран.
22. Зробіть аналіз електропровідності іонообмінних мембран.
23. Охарактеризуйте дифузійну проникність мембран.
24. Опишіть механізм напівпроникності мембран.
25. Охарактеризуйте осмотичну проникність мембран.
26. Порівняйте гомогенні та гетерогенні мембрани.
27. Поясніть явище набрякання мембран.
28. Опишіть механізм електроосмотичної проникності мембран.
29. Поясніть вплив концентраційної поляризації на роботу мембран.
30. Наведіть класифікацію деструктивних методів очищення води.
31. Обґрунтуйте застосування кисню при очищенні води.
32. Обґрунтуйте окислення органічних домішок хлором та його сполуками.
33. Обґрунтуйте застосування озону при очищенні води.
34. Обґрунтуйте використання пероксиду водню, сполук марганцю при очищенні води.
35. Поясніть механізм окислення домішок у воді киснем.

36. Охарактеризуйте термоокислювальні методи очищення води.
37. опишіть механізм глибокого окислення домішок у воді.
38. Охарактеризуйте рідкофазне окислення.
39. Охарактеризуйте електрохімічне окислення домішок у воді.
40. Охарактеризуйте радіаційні методи очищення води.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено проф., д.т.н., Гомелею М. Д.**

**Ухвалено кафедрою Е та ТРП (протокол № 14 від 18.05.2023р.)**

**Погоджено методичною комісією ІХФ ( протокол № 10 від 26.05.2023)**