



Зелені хімічні технології

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна та біоінженерія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Змішана, дистанційна, очна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / Підсумкове тестування, МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>Лекція 2 години на тиждень (1 пара), практичні заняття 2 години на тиждень (1 пара) за розкладом на rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., асистент Літинська Марта Ігорівна, m.litynska-2017@kpi.ua ¹</i> Практичні заняття: <i>к.т.н., асистент Літинська Марта Ігорівна, m.litynska-2017@kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача; код курсу – eofqldk</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Необхідність викладання студентам навчальної дисципліни «Зелені хімічні технології» зумовлена сучасними викликами суспільства та загальною тенденцією до екологізації всіх сфер людської діяльності.

Дисципліна «Зелені хімічні технології» займає важливе місце у формуванні світогляду сучасного фахівця, оскільки надає студентам здатностей використовувати сучасні уявлення про зелену хімію та зелені хімічні технології у енергетичній, фармацевтичній, харчовій, целюлозно-паперовій та інших галузях промисловості; оцінювати вплив на оточуюче середовище виробництв різних типів та розробляти способи приведення цих виробництв у відповідність до принципів зеленої хімії. Також ця дисципліна надає студентам необхідні знання щодо застосування на практиці принципів побудови екологічно чистих виробництв у різних галузях промисловості. Навчальний матеріал дисципліни «Зелені хімічні технології» базується на знаннях дисциплін «Загальна та неорганічна хімія», «Прикладна неорганічна хімія», «Органічна хімія», «Фізична хімія», а також формує базу для подальшого вивчення профільюючих дисциплін, таких як «Сучасні технології переробки та утилізації відходів», «Основи проектування хімічних підприємств».

¹ Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

Предмет дисципліни: принципи зеленої хімії та способи екологізації виробництв; технологічні схеми, що відповідають принципам зеленої хімії та застосовуються у різних галузях промисловості; технології для реалізації цих схем.

Метою дисципліни є формування у студентів:

- базових уявлень про принципи та основні напрями зеленої хімії;
- володіння методами спостереження, опису, ідентифікації, класифікації об'єктів хімічної технології, продукції промисловості, відходів, допоміжних речовин хіміко-технологічних процесів;
- здатності проектувати хімічні процеси з урахуванням технічних, законодавчих та екологічних обмежень;
- базових уявлень про принципи та напрямки зеленої хімії;
- сучасних уявлень про перспективи зеленої хімії для різних галузей промисловості та способи екологізації виробництв;
- базові уявлення про основні закономірності розвитку й сучасні досягнення у зелених хімічних технологіях;
- розуміння ролі зелених хімічних технологій у сучасному суспільстві, розуміння соціальних і екологічних наслідків своєї професійної діяльності.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- основних принципів та напрямів зеленої хімії;
- переваг та недоліків традиційних та іноваційних технологій;
- основних критеріїв оцінки відповідності виробництва принципам зеленої хімії;
- оцінювання безпеки використання різних матеріалів та процесів у виробництві;
- сучасних тенденцій прогресу у зеленій хімії та зелених хімічних технологіях;
- особливостей застосування зелених хімічних технологій у різних галузях промисловості;
- фізико-хімічних основ здійснення безпечного хіміко-технологічного процесу у раціональних (оптимальних) умовах;
- розуміння шляхів екологізації виробництв.

уміння:

- здійснювати пошук та аналіз сучасних літературних джерел;
- оцінювати наслідки виробничих процесів для навколишнього середовища;
- аргументовано підбирати способи приведення виробництв різних типів у відповідність до принципів зеленої хімії;
- забезпечувати безпеку персоналу та навколишнього середовища під час професійної діяльності у сфері хімічної інженерії;
- визначити термодинамічну можливість перебігу процесу за певних умов;
- вірно обрати раціональні умови здійснення технологічного процесу одержання хімічних продуктів;

- виконувати обчислення кількості продуктів та відходів, а також передбачити та запропонувати шляхи раціонального використання відходів, напівпродуктів або їх утилізації;
- застосовувати сучасні підходи до організації процесу виробництва, що чинять мінімальний вплив на навколишнє середовище.

досвід:

- використання сучасних і новітніх літературних джерел для наукового обґрунтування внесення змін у технологічні процеси з метою приведення виробництва у відповідність до принципів зеленої хімії;
- використання розрахунків для обґрунтування необхідності екологізації хіміко-технологічних процесів;
- використання теоретичних положень загальної, неорганічної, органічної і фізичної хімії та довідкових даних фізико-хімічних властивостей сполук для розробки способів приведення виробництва у відповідність до принципів зеленої хімії.

Компетенції, одержані студентами в процесі вивчення дисципліни «Зелені хімічні технології», будуть застосовуватись ними для виконання наукових робіт та магістерської дисертації, а також, у подальшій професійній та практичній діяльності.

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

Зазначається перелік дисциплін, знань та умінь, володіння якими необхідні студенту для успішного засвоєння дисципліни:

Математичне моделювання та оптимізація об'єктів хімічної технології	Моделювання процесів хімічних виробництв, хімічних реакцій та допоміжних процесів у виробництві, оптимізація хіміко-технологічних процесів.
Фізико-хімічні методи аналізу	Способи та методи визначення складу домішок у повітрі, воді, ґрунтах тощо.

Дана дисципліна формує базу для дисципліни «Економіка і організація виробництва», оскільки надає студентам знання, уміння та досвід вибору екологічно обґрунтованих способів та засобів виробництва, а також вирішення екологічних проблем, що можуть в процесі організації або реорганізації виробництва.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Термінологія та основні поняття.

Означення термінів «зелена хімія» та «зелені хімічні технології». Взаємозв'язок зеленої хімії, хімії оточуючого середовища, екологічної хімії та сталого розвитку. Принципи зеленої хімії. Приклади слідування принципам зеленої хімії. Напрямки зеленої хімії. Проблема розчинників у хімічній технології. Розчиннику у зеленій хімії. Використання води у зеленій хімії. Використання рідин у надкритичному стані. Іонні рідини.

Тема 2. Зелені хімічні технології в енергетичній галузі.

Способи виробництва електроенергії та їх наслідки для екології. Викиди CO₂. Вловлювання CO₂. Повторне використання CO₂. Біопаливо. Воднева енергетика. Виробництво, зберігання та використання водню для потреб енергетики.

Тема 3. Зелені хімічні технології у фармацевтичній галузі.

Екологізація органічних синтезів. Принципи зеленої хімії в органічних синтезах. Використання, повторне використання та переробка розчинників. Мінімізація використання розчинників. «Зелені» розчинники у фармацевтичній галузі. Зв'язок зеленої хімії та біотехнології. Біокаталіз. Біосинтез. Зелена хімія у фармацевтиці на прикладі виробництва ібупрофену, ліків від діабету, таксолу, прегабаліну тощо.

Тема 4. Зелені хімічні технології у харчовій промисловості та водоочищенні.

Біотехнології у харчовій промисловості. Використання біомаси для виробництва цільових компонентів. Використання рідин у надкритичному стані у харчовій промисловості. Пастеризація за допомогою рідин у надкритичному стані. «Зелені» підходи до пакування та безпечного зберігання харчових продуктів. «Зелені» підходи у одержанні олій та масел з рослинної сировини. Мембранні технології у харчовій промисловості. Зелені технології у водоочищенні.

Тема 5. Зелені хімічні технології у целюлозно-паперовій промисловості.

Екологічні проблеми целюлозно-паперової промисловості. Відходи целюлозно-паперової промисловості. Способи екологізації целюлозно-паперової промисловості. Приклади целюлозно-паперових виробництв з мінімізованим впливом на навколишнє середовище.

Тема 6. Зелені хімічні технології у виробництві полімерів та ряду інших матеріалів

Теорії розчинності та заміна розчинників. Використання природних матеріалів для виробництва полімерів, покриттів, чорнил, клеїв, в'язучих матеріалів тощо. Біомолекулярні матеріали. Біологічні клейкі матеріали. Біотехнологія та виробництво в'язучих матеріалів. Біосилікатні в'язучі матеріали. Клейкі матеріали на основі протеїнів сої. Виробництво природних поліолів. Виробництво друкарських фарб з відновлюваних ресурсів. «Зелені» підходи у виробництві автомобільних покриттів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у Google Classroom (в рамках курсу). Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та практичних заняттях.

Базова:

- 1. Benvenuto, M. A., & Plaumann, H. (Eds.). (2018). Green Chemistry in Industry (Green Chemical Processing). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110562781-201>*
- 2. Albini, A., & Protti, S. (2015). Paradigms in Green Chemistry and Technology (SpringerBriefs in Molecular Science) (1st ed. 2016 ed.). Springer.*

3. Dake, S. A., Shinde, R. S., Ameta, S. C., & Haghi, A. K. (2021). *Green Chemistry and Sustainable Technology: Biological, Pharmaceutical, and Macromolecular Systems*. Apple Academic Pr Inc.
4. Han, B., & Wu, T. (2019). *Green Chemistry and Chemical Engineering (2nd ed. 2019 ed.)*. Springer New York.

Додаткова

1. Zhang, Z., Höfer, R., & Matharu, A. S. (2019). *Green Chemistry for Surface Coatings, Inks and Adhesives: Sustainable Applications*. Royal Society of Chemistry.
2. Koenig, S. (2013). *Scalable Green Chemistry: Case Studies from the Pharmaceutical Industry (1st ed.)*. Jenny Stanford Publishing.
3. Rogers, R. D., & Seddon, K. R. (2002). *Ionic Liquids*. American Chemical Society.
4. Kerton, F., & Marriott, R. (2013). *Alternative Solvents for Green Chemistry (Green Chemistry Series) (2nd Edition)*. Royal Society of Chemistry.
5. Bajpai, P. (2015). *Green Chemistry and Sustainability in Pulp and Paper Industry*. Springer Publishing.
6. Proctor, A. (2011). *Alternatives to Conventional Food Processing (Green Chemistry Series) (1st ed.)*. Royal Society of Chemistry.
7. Naushad, M., & Lichtfouse, E. (2020). *Green Materials for Wastewater Treatment (1st ed. 2020 ed.)*. Springer.
8. Ul-Islam, S. (2019). *Integrating Green Chemistry and Sustainable Engineering*. Wiley.
9. Savitskaya, T., Kimlenka, I., Lu, Y., Hrynshpan, D., Sarkisov, V., Yu, J., Sun, N., Wang, S., Ke, W., & Wang, L. (2021). *Green Chemistry: Process Technology and Sustainable Development (1st ed. 2021 ed.)*. Springer.
10. Vaz, S. (2017). *Biomass and Green Chemistry: Building a Renewable Pathway (1st ed. 2018 ed.)*. Springer.
11. Gude, V. G. (2018). *Green Chemistry for Sustainable Biofuel Production (1st ed.)*. Apple Academic Press : CRC Press.

Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс Google Classroom (домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); код курсу – eofqldk.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Вичитування лекцій з дисципліни проводиться паралельно з виконанням студентами практичних завдань та розглядом ними питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі, Sikorsky-distance та/або засоби для здійснення відеоконференцій (Zoom чи інші). Перед кожною лекцією рекомендується ознайомитись з лекційними матеріалами, а також з матеріалами, що рекомендовані для самостійного вивчення.

№	Опис заняття
---	--------------

1	<p>Надання інформації щодо PCO.</p> <p>Тема 1 – Термінологія та основні поняття: Означення термінів «зелена хімія» та «зелені хімічні технології». Взаємозв'язок зеленої хімії, хімії оточуючого середовища, екологічної хімії та сталого розвитку. Принципи зеленої хімії. Приклади слідування принципам зеленої хімії. Напрямки зеленої хімії.</p>
2	Продовження теми 1: Проблема розчинників у хімічній технології. Розчиннику у зеленій хімії. Використання води у зеленій хімії.
3	Продовження теми 1: Використання рідин у надкритичному стані. Іонні рідини.
4	Тема 2 – Зелені хімічні технології в енергетичній галузі: Способи виробництва електроенергії та їх наслідки для екології. Викиди CO ₂ . Вловлювання CO ₂ . Повторне використання CO ₂ .
5	Продовження теми 2: Біопаливо. Воднева енергетика. Виробництво, зберігання та використання водню для потреб енергетики.
6	Тема 3 – Зелені хімічні технології у фармацевтичній галузі: Екологізація органічних синтезів. Принципи зеленої хімії в органічних синтезах. Використання, повторне використання та переробка розчинників. Мінімізація використання розчинників. «Зелені» розчинники у фармацевтичній галузі.
7	Продовження теми 3: Зв'язок зеленої хімії та біотехнології. Біокаталіз. Біосинтез.
8	Продовження теми 3: Зелена хімія у фармацевтиці на прикладі виробництва ібупрофену, ліків від діабету, таксолу, прегабаліну тощо.
9	Тема 4 – Зелені хімічні технології у харчовій промисловості та водоочищенні: Біотехнології у харчовій промисловості. Використання біомаси для виробництва цільових компонентів.
10	Продовження теми 4: Використання рідин у надкритичному стані у харчовій промисловості. Пастеризація за допомогою рідин у надкритичному стані. «Зелені» підходи до пакування та безпечного зберігання харчових продуктів.
11	Продовження теми 4: «Зелені» підходи у одержанні олій та масел з рослинної сировини.
12	Продовження теми 4: Мембранні технології у харчовій промисловості. Зелені технології у водоочищенні.
13	Тема 5 – Зелені хімічні технології у целюлозно-паперовій промисловості: Екологічні проблеми целюлозно-паперової промисловості. Відходи целюлозно-паперової промисловості.
14	Продовження теми 5: Способи екологізації целюлозно-паперової промисловості.
15	Продовження теми 5: Приклади целюлозно-паперових виробництв з мінімізованим впливом на навколишнє середовище.
16	Тема 6 – Зелені хімічні технології у виробництві полімерів та ряду інших матеріалів: Теорії розчинності та заміна розчинників. Використання природних матеріалів для виробництва полімерів, покриттів, чорнил, клеїв, в'язучих матеріалів тощо. Біомолекулярні матеріали. Біологічні клейкі матеріали. Біотехнологія та виробництво в'язучих матеріалів.
17	Продовження теми 6: Біосилікатні в'язучі матеріали. Клейкі матеріали на основі протеїнів сої. Виробництво природних поліолів.
18	Продовження теми 6: Виробництво друкарських фарб з відновлюваних ресурсів. «Зелені» підходи у виробництві автомобільних покриттів.

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять з дисципліни «Зелені хімічні технології» є закріплення теоретичних знань, що набуті на лекціях та при самостійній роботі, для вирішення конкретних практичних завдань та прикладів з фахового напрямку. Для цього на практичних заняттях студенти виконують вправи, які дозволять оволодіти навиками вибору способів та засобів приведення виробництв різних типів у відповідність до принципів зеленої хімії. Студенти здійснюють обґрунтування реальних рішень з майбутньої фахової діяльності з урахуванням сучасних тенденцій зеленої хімії та підприємництва.

№	Опис заняття
1-2	Управління викидами CO ₂ . Баланси CO ₂ .
3-4	Вибір розчинника в залежності від сфери застосування та особливостей процесу.
5-12	Приведення виробництв різних типів у відповідність до принципів зеленої хімії (на прикладі конкретних виробництв). Підтверджуючі розрахунки.
13	Модульна контрольна робота
14-18	Приведення виробництв різних типів у відповідність до принципів зеленої хімії (на прикладі конкретних виробництв). Підтверджуючі розрахунки.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, підготовка до модульної контрольної роботи (МКР), виконання розрахунково-графічної роботи (РГР), підготовка до заліку. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид СРС	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу та методик розрахунків	1–3 години на тиждень
Виконання РГР	10 годин
Підготовка до МКР (повторення матеріалу)	4 години
Підготовка до заліку	30 годин

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекції та практичні заняття проводяться у навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться за допомогою платформи дистанційного навчання Сікорський, практичні заняття – у навчальних аудиторіях або за допомогою платформи дистанційного навчання Сікорський. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекцій та практичних занять є обов'язковим.

На початку кожної лекції проводиться тестування за матеріалами попередньої лекції. Перед початком чергової теми лектор надсилає лекційний матеріал у формі презентації з метою кращого засвоєння студентами та підвищення рівня їх зацікавленості.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

1) несвоєчасна задача розрахунково-графічної роботи штрафується зниженням оцінки на 10-80 %;

2) виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни (виготовлення плакатів, схем, моделей, тощо) дає можливість отримати від 1 до 5 заохочувальних балів (за кожен вид завдань в залежності від складності завдання, яка визначається викладачем).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: тестування на лекціях та виконання завдань на практичних заняттях, МКР, РГР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: залік у формі підсумкового тестування.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується, виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- модульну контрольну роботу (МКР);
- виконання розрахунково-графічної роботи (ДКР);
- експрес-тестування на лекціях;
- виконання завдань на практичних заняттях.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Модульна контрольна робота.

Ваговий бал за МКР – **15 балів**.

Оцінювання роботи проводиться у вигляді тестування (50 тестових питань по 0,3 балів кожне, ліміт часу – 90 хвилин).

2.2. Розрахунково-графічна робота.

Ваговий бал – **15 балів**. Оцінювання роботи проводиться за наступною шкалою:

- творчо виконана робота, виконані всі вимоги до роботи – 15–13 балів;
- роботу виконано з незначними недоліками, виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки – 12,9 – 9 балів;
- роботу виконано з певними помилками, є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки – 8,9 – 0,1 бал;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.

2.3. Експрес-тестування на лекціях.

Ваговий бал – **15 балів** (15 експрес-тестувань по 1 балу кожне). Оцінювання роботи проводиться у вигляді тестування (8 тестових питань по 0,125 балів кожне, ліміт часу 10 хвилин).

2.4. Виконання завдань на практичних заняттях.

Ваговий бал – **15 балів** (кожна відповідь оцінюється від 0 до 3 в залежності від повноти та правильності).

3. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є виконання всіх запланованих на цей час робіт (на час календарного контролю). На **першому календарному контролі** (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не

менше $0,5 \cdot 21^1 = 10,5$ балів. На **другому календарному контролі** (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 57^2 = 28,5$ балів і зарахована розрахунково-графічна робота.

4. Залік. Ваговий бал – **40 балів**. Студенти виконують підсумкове тестування, що містить 100 тестових питань. Тривалість виконання – 1 година 20 хвилин.

Максимальна сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 100 балів:

$$RC = r_{\text{мкр}} + r_{\text{ргр}} + r_{\text{ет}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{екз}} = 15 + 15 + 15 + 15 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Умовою допуску до екзамену є виконання МКР і РГР та кількість рейтингових балів не менше 30.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Вимоги до оформлення розрахунково-графічної роботи наведені у *Google Classroom* «Зелені хімічні технології» (платформа *Sikorsky-distance*). Код курсу – *eofqldk*.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: асистентом кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, к.т.н. Літинською М.І.

Ухвалено кафедрою технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології (протокол № 19 від 30.06.2021 р.)³

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 23.06.2021 р.)

¹ Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 8 тижнів.

² Максимальна кількість балів, яку може мати студент протягом 14 тижнів.

³ Силабус спочатку погоджується метод. комісією, а потім ухвалюється кафедрою.