



Моделювання гідродинаміки суцільного середовища

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (доктор філософії)
Галузь знань	16 – Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність	162 – Біотехнології та біоінженерія
Освітня програма	Біотехнології
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, 3 семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин) в т.ч. лекцій – 14 годин, практичні роботи – 28 годин, СРС – 78 годин.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / Модульна контрольна робота (МКР)
Розклад занять	На сайтах http://roz.kpi.ua та https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Керівник дисципліни: к.т.н., доц. каф. БТ та І, Костик Сергій Ігорович, 044-204-94-51, kostyksergey@ukr.net Викладачі: ас. каф. БТ та І, Ружанський Антон Сергійович, 044-204-94-51, anrux@protonmail.com
Розміщення курсу	Google Classroom

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Моделювання гідродинаміки суцільного середовища» спрямована на формування у здобувачів навичок застосування сучасних методів комп'ютерного моделювання для дослідження гідродинамічних процесів у біотехнологічному обладнанні.

Основна увага приділяється використанню системи автоматизованого проектування ANSYS та її модулів симуляції для дослідження руху рідин і газів, аналізу процесів перемішування, а також прогнозування робочих параметрів інноваційного біотехнологічного обладнання.

Моделювання дозволяє досліджувати фізичні процеси, що відбуваються у технологічних апаратах, без необхідності проведення складних і дорогих експериментів. Це значно підвищує ефективність проектування та оптимізації біотехнологічних установок.

Метою дисципліни є формування у здобувачів здатності застосовувати сучасні програмні засоби для моделювання гідродинамічних процесів та аналізу роботи біотехнологічного обладнання.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Дисципліна ґрунтується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін:

- Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв
- Загальна біотехнологія

- Фізика
- Інженерна і комп'ютерна графіка

Знання та навички, отримані під час вивчення дисципліни, можуть бути використані при виконанні наукових досліджень, підготовці дисертаційної роботи та розробці нових технологічних рішень у галузі біотехнології.

3. Зміст навчальної дисципліни

- *Розділ 1. Основи моделювання гідродинаміки суцільного середовища.*
 - *Тема 1.1. Вступ до моделювання гідродинаміки та огляд програмного забезпечення.*
 - *Тема 1.2. Підготовка геометрії для розрахунку.*
 - *Тема 1.3. Побудова сітки з геометрії.*
 - *Тема 1.4. Налаштування розрахунку та параметрів.*
- *Розділ 2. Аналіз та оптимізація результатів моделювання.*
 - *Тема 2.1. Обробка результатів.*

4. Навчальні матеріали та ресурси

• Базові інформаційні ресурси

1. Cant, S. (2001). Review of Turbulent flows by S. B. Pope. *Combustion and Flame*, 125(4), 1361–1362. [https://doi.org/10.1016/s0010-2180\(01\)00244-9](https://doi.org/10.1016/s0010-2180(01)00244-9)
2. Crowe, C. T. (2010). *Multiphase flow handbook* (2nd ed., 1156 pp.). Taylor & Francis Group.
3. ANSYS, Inc. (2024a). ANSYS CFX reference guide. https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/pdf/Ansys_CFX_Reference_Guide.pdf
4. ANSYS, Inc. (2024b). ANSYS CFX-Solver theory guide. https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/pdf/Ansys_CFX-Solver_Theory_Guide.pdf
5. Krause, E. (1997). Review of Computational methods for fluid dynamics by J. H. Ferziger & M. Perić. *ZAMM – Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 77(2), 160. <https://doi.org/10.1002/zamm.19970770220>
6. Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A., & Kresta, S. M. (Eds.). (2004). *Handbook of industrial mixing: Science and practice* (1440 pp.). Wiley-Interscience.
7. Launder, B. E. (1995). Review of Turbulence modeling for CFD by D. C. Wilcox. *Journal of Fluid Mechanics*, 289, 406–407. <https://doi.org/10.1017/s0022112095211388>
8. Nienow, A. W., Harnby, N., & Edwards, M. F. (1992). Introduction to mixing problems. In *Mixing in the process industries* (pp. 1–24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-075063760-2/50022-6>
9. Ranade, V. V. (2001). *Computational flow modeling for chemical reactor engineering* (458 pp.). Elsevier Science & Technology Books.
10. Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2011). *Introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method* (2nd ed., 516 pp.). Pearson Education Limited.

• Додаткові інформаційні ресурси

1. Офіційний канал ANSYS на YouTube: <https://www.youtube.com/user/ANSYSInc>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

• Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на надання теоретичних основ методу скінченних елементів та фізики процесів, що моделюються, з подальшим їх застосуванням на практичних заняттях.

№ з/п	Назва теми лекції	Кількість годин
1	Основи гідродинаміки та перемішування в біотехнологічних процесах	2
2	Режими течії: ламінарний, перехідний, турбулентний. Число Рейнольдса	2
3	Моделі турбулентності (k-ε, k-ω, LES) та ламінарні моделі	3
4	Масообмін, теплообмін та вплив перемішування на мікроорганізми	2
5	Геометрія біореакторів та змішувальних елементів	2
6	Можливості ANSYS CFX: Rotational periodicity, Frozen Rotor, General Connection	3
Всього лекцій		14

- Практичні заняття**

Практичні заняття спрямовані на формування навичок самостійної роботи в програмному комплексі ANSYS. [Основні завдання циклу комп'ютерних практикумів] - закріпити знання, отримані при вивченні теоретичного курсу. Набути навичок виконання симуляцій фізичних процесів, що протікають в біотехнологічному обладнанні.

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість годин
1	Підготовка геометрії для розрахунку	8
2	Початок налаштування в ANSYS, налаштування сітки	6
3	Налаштування граничних умов і початкових умов розрахунку перемішування	6
4	Проведення розрахунку перемішування	4
5	Аналіз результатів розрахунку перемішування	4
Всього		28

- Самостійна робота студента**

Самостійна робота є ключовим елементом для глибокого засвоєння матеріалу та виконання індивідуальних завдань.

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин
1	Теорія перемішування: режими потоку, Re, в'язкість, густина, зсувні напруження	8
2	Моделі турбулентності k-ε, k-ω, LES та їх порівняння	8
3	Масообмінні та транспортні моделі в біотехнологічних процесах	6
4	Вплив геометрії біореактора (H/D, baffles, теплообмінники)	8
5	Типи змішувальних елементів та їх розташування	6
6	Rotational periodicity: підготовка сегменту 60° та переваги	6
7	Типи сіток в ANSYS: Tetrahedrons, Hex Dominant, Sweep, MultiZone	6
8	Налаштування сітки: Sizing, Inflation, Refinement, Patch Conforming vs Independent	6
9	Параметри Analysis Type: Timestep, Courant Number	4
10	Domain Motion: Angular Velocity, Rotation Axis	4
11	Інтерфейси: Frozen Rotor, Transient Rotor Stator, вибір інтерфейсу	4
12	Налаштування Transient Results та Output Control	2
13	Аналіз результатів у CFX-Post: Plane, Contour, Vectors, AreaAve, MaxVal	2
Всього		78

Протягом семестру студенти виконують цикл практичних робіт, результати яких оформлюються у звіти. Модульна контрольна робота виконується на останньому практичному занятті і має на меті

перевірку набутих навичок.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- **Правила відвідування занять**

Відвідування аудиторних (онлайн) занять не є обов'язковим, однак наполегливо рекомендується, оскільки під час них детально пояснюються всі етапи виконання завдань. Основним критерієм успішності є вчасне виконання та здача звітів. Якщо студент був відсутній на занятті, він має самостійно опрацювати матеріал.

- **Правила призначення заохочувальних та штрафних балів**

Заохочувальні та штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені.

- **Навчання іноземною мовою**

У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел (довідкова система ANSYS, наукові статті).

- **Політика академічної доброчесності**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

- Плагіат та інші форми недоброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься копіювання текстів, розрахунків, графіків, епюр, моделей. У випадку виявлення плагіату в будь-якій частині роботи вона оцінюється в 0 балів для обох сторін (як для того, хто скопіював, так і для того, у кого скопіювали).
- При виконанні індивідуальних самостійних завдань не допускається використання в списку використаної літератури російськомовних джерел.

- **Політика академічної поведінки і етики**

Студенти мають бути толерантними, поважати думку оточуючих, вести конструктивний діалог. Норми етичної поведінки визначені у розділі 2 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського.

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

- **Структура семестрового рейтингу**

Максимальна кількість балів за семестр — 100

Семестровий рейтинг формується з:

1. виконання та захисту 5 практичних робіт (ПР1–ПР5) — 60 балів (по 12 балів кожна);
2. МКР — 40 балів.

Система рейтингових балів

- **Виконання і захист практичних робіт.**

Максимальна кількість балів за кожне практичне завдання є різною залежно від складності:

- ПР1 – 12 балів.
- ПР2 – 12 балів.
- ПР3 – 12 балів.
- ПР4 – 12 балів.
- ПР5 – 12 балів.

Сумарно за 5 практичних занять можливо отримати $12+12+12+12+12 = 60$ балів.

Виконання практичної роботи оцінюється за критеріями: повнота, правильність, відповідність індивідуальному завданню.

- **Календарний контроль.**

Проводиться двічі на семестр. Умовою отримання позитивної оцінки є виконання відповідної кількості практичних робіт та наявність поточного рейтингу не менше 50% від максимально можливого на час контролю.

- **Умови допуску до семестрового контролю (заліку).**

До складання заліку допускаються лише ті студенти, які на момент проведення заліку:

- набрали не менше 36 рейтингових балів за результатами поточного контролю;
- виконали всі 5 практичних робіт (ПР1–ПР5);
- завантажили до Google Classroom усі звіти з практичних робіт;
- отримали перевірку та оцінювання зазначених робіт викладачем.

- **Отримання заліку «автоматом».**

У разі набрання протягом семестру від 60 до 100 рейтингових балів студенту пропонується отримання заліку автоматично без додаткового складання семестрового контролю. Підсумкова оцінка в цьому випадку визначається шляхом перерахунку семестрового рейтингу відповідно до затверджені таблиці переведення балів, наведеної нижче в силабусі.

- **Порядок складання заліку (у разі неотримання оцінки «автоматом»).**

Студенти, які за результатами поточного контролю виконали всі вимоги допуску, складають залік у формі підсумкового випробування.

Залік складається з чотирьох завдань:

- два теоретичних питання;
- два практичних завдання з виконанням розрахунків у програмному комплексі ANSYS.

Кожне завдання залікової роботи максимально оцінюється у 25 балів відповідно до наступних критеріїв:

- «відмінно», повне виконання завдань залікової роботи і правильні відповіді під час співбесіди (не менше 90% потрібної інформації) – 23-25 балів;
- «добре», достатньо повне виконання завдань залікової роботи і переважно вірні відповіді з можливими неточностями під час співбесіди (не менше 75% потрібної інформації, з незначними неточностями) – 18-22 балів;
- «задовільно», неповне виконання завдань залікової роботи та/або часткові або неточні відповіді

під час співбесіди (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 14-17 балів;

- «незадовільно», неповне або невірне виконання завдань залікової роботи та/або незадовільні відповіді під час співбесіди (не відповідає вимогам на 15 балів) – 0 балів.

Максимальна сума балів за чотири завдання залікової роботи 100 балів, які переводяться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Традиційна 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

Теоретична частина формується з переліку 25 питань. Питання мають прикладний характер і передбачають пояснення алгоритмів дій у середовищі ANSYS, обґрунтування вибору моделей, граничних умов, параметрів сітки, налаштувань солвера тощо.

Критерії оцінювання теоретичного питання (25 балів):

- повнота відповіді;
- логічність та послідовність викладення;
- коректність термінології;
- здатність пояснити алгоритм дій у програмному середовищі.

Практична частина передбачає виконання двох розрахункових задач у середовищі ANSYS з тем, що розглядалися протягом семестру.

Завдання можуть включати:

- побудову або імпорт геометрії;
- створення розрахункової сітки;
- задання матеріалів та граничних умов;
- налаштування солвера;
- отримання та інтерпретацію результатів.

Критерії оцінювання практичного завдання (25 балів):

- коректність постановки задачі;
- правильність задання граничних умов;
- адекватність вибору моделей;
- збіжність розрахунку;
- правильність аналізу результатів.

- **Порядок проведення залікової контрольної роботи та вимоги академічної доброчесності**

Під час виконання залікової контрольної роботи студент зобов'язаний дотримуватися принципів академічної доброчесності відповідно до Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Під час складання заліку не допускається використання будь-яких гаджетів (мобільних телефонів, смарт-годинників, планшетів тощо), підручників, конспектів, друкованих або електронних матеріалів та інших сторонніх джерел інформації. Виконання роботи здійснюється виключно самостійно.

У разі порушення зазначених вимог студент може бути відсторонений від виконання залікової

контрольної роботи. Така робота анулюється, а студент направляється на перескладання згідно з установленим порядком.

- **Порядок перескладання**

У разі отримання незадовільної оцінки під час основної сесії студент має право на дві спроби перескладання заліку відповідно до графіку ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія), затвердженого факультетом.

Інші спроби перескладання не передбачені.

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *В умовах дистанційного або змішаного режиму проведення занять організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: Zoom, Google Classroom, Telegram.*
- *У разі виникнення непереборних обставин чи інших форс-мажорних ситуацій та за відповідного розпорядження по університету/факультету в силабус можуть бути внесені зміни, про які будуть повідомлені всі здобувачі.*
- *Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):*
 - *Складено к.т.н., доцент Костик Сергій Ігорович, асист. Ружанський Антон Сергійович*
 - *Ухвалено кафедрою біотехніки та інженерії (протокол № 12 від 11.06.2025 р.)*
 - *Погоджено Методичною комісією ФБТ (протокол № 6 від 30.06.2025 р.)*