



Інтелектуальні біотехнічні системи

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	G – Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G22 – Біомедична інженерія
Освітня програма	Регенеративна та біофармацевтична інженерія (редакція 2025 року)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ECTS (120 годин): лекції – 16 год., практичні заняття – 30 год., самостійна робота – 74 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / модульна контрольна робота (МКР) / індивідуальне семестрове завдання (ІСЗ)
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор і практичні заняття: к.т.н., доц. Бесараб Олександр Борисович https://bi.fbmi.kpi.ua/uk/besarab-ua/ besarab@lil.kpi.ua
Розміщення курсу	Платформа «Сікорський» / Google Classroom; посилання на конкретний електронний курс надається здобувачам на першому занятті.

Програма навчальної дисципліни

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

Що буде вивчатися

Дисципліна присвячена принципам аналізу, моделювання, проєктування та валідації інтелектуальних біотехнічних систем (ІБТС), у яких біологічний або біомедичний об'єкт взаємодіє з технічними засобами вимірювання, оброблення інформації, прийняття рішень і керування. Розглядаються формалізація інженерної задачі та розроблення технічного завдання, планування експерименту, ідентифікація та моделювання систем, оптимізація, нечітке логічне виведення, адаптивні та нейро-нечіткі моделі, методи машинного навчання, зокрема Random Forest, а також верифікація, валідація, інтерпретованість, стійкість і прототипування ІБТС. Практичні заняття реалізуються переважно у формі комп'ютерного практикуму з використанням Python та Jupyter/Google Colab на прикладах біомедичних даних і моделей біотехнічних систем.

Чому це цікаво/треба вивчати

Сучасні біомедичні та біотехнологічні системи дедалі частіше поєднують сенсори, біологічні об'єкти, алгоритми оброблення даних, моделі прогнозування та керувальні рішення. Інженер має не лише застосувати окремий алгоритм штучного інтелекту, а й коректно сформулювати задачу, визначити вимоги до системи, обрати дані та критерії якості, перевірити модель на незалежних даних, оцінити взаємний вплив технічної і біологічної частин та документувати рішення на всіх етапах життєвого циклу.

Саме системний підхід відрізняє розроблення ІБТС від ізолюваного використання окремих методів машинного навчання.

Мета дисципліни

Формування у здобувачів здатності формалізувати складні задачі біомедичної інженерії, розробляти технічні вимоги до інтелектуальних біотехнічних систем, обирати та обґрунтовувати математичні й інтелектуальні методи, створювати і валідувати моделі, інтегрувати їх у структуру ІБТС та оцінювати біологічні, технічні, правові, етичні й соціальні наслідки використання таких систем.

Предмет дисципліни

Методи, моделі, алгоритми та інженерні процедури створення інтелектуальних біотехнічних систем: від постановки задачі й технічного завдання до математичного моделювання, оптимізації, використання нечітких, нейро-нечітких і машинних моделей, верифікації, валідації та прототипування.

Чому можна навчитися

Після опанування дисципліни здобувач зможе формалізувати медико-інженерну або біоінженерну проблему; визначати межі, структуру, входи, виходи та критерії якості ІБТС; розробляти технічне завдання; планувати обчислювальний або модельний експеримент; готувати біомедичні дані без витоку інформації; будувати базові моделі ідентифікації; формулювати задачі оптимізації; створювати нечіткі системи типу Sugeno; пояснювати принципи нейро-нечіткого навчання; застосовувати Random Forest для задач класифікації та регресії; використовувати перехресну валідацію, ROC-AUC, F1, MAE/RMSE та інші метрики; оцінювати стійкість та інтерпретованість моделей; розробляти концептуальну архітектуру і прототип ІБТС та документувати результати.

Як можна користуватися набутими знаннями і уміннями

Набуті компетентності застосовуються під час розроблення та модернізації біомедичних приладів і систем моніторингу, біосенсорних та біотехнологічних систем, автоматизованих установок, систем підтримки інженерних рішень, моделей керування біопроцесами, цифрових прототипів і дослідницьких стендів. Вони також є основою для планування магістерських досліджень, виконання практики, підготовки кваліфікаційної роботи та подальшої проектної і науково-дослідної діяльності.

Компетентності та програмні результати навчання відповідно до ОПП 2025 року

За матрицею відповідності ОПП «Регенеративна та біофармацевтична інженерія» 2025 року освітній компонент ПО 06 забезпечує/посилює такі компетентності:

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК 01 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 02 – Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 03 – Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (науково-дослідного, науково-технічного, проектного, виробничо-організаційного характеру), орієнтуючись зокрема на інноваційний сталий розвиток суспільства.

ЗК 05 – Здатність працювати в міжнародному контексті.

Фахові компетентності (ФК):

ФК 03 – Здатність аналізувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми та здійснювати їх формалізацію для знаходження кількісних рішень із застосуванням сучасних математичних методів та інформаційних технологій.

ФК 04 – Здатність створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для дослідження і розробки біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення.

ФК 05 – Здатність розробляти технічні завдання на створення, а також моделювати, оцінювати, проектувати та конструювати складні біоінженерні та медико-інженерні системи і технології.

ФК 06 – Здатність досліджувати біологічні та технічні аспекти функціонування та взаємодії штучних біологічних і біотехнічних систем.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПРН 04 – Аналізувати і вирішувати складні медико-інженерні та біоінженерні проблеми із застосуванням математичних методів та інформаційних технологій.

ПРН 05 – Створювати і вдосконалювати засоби, методи та технології біомедичної інженерії для всебічного дослідження і розробки біоінженерних, біотехнічних та біофармацевтичних об'єктів та систем медико-технічного призначення.

ПРН 06 – Розробляти, планувати, виконувати та обґрунтовувати інноваційні проекти біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення з урахуванням інженерних, медичних, правових, економічних, екологічних та соціальних аспектів, здійснювати їх інформаційне та методичне забезпечення.

ПРН 07 – Оцінювати біологічні і технічні аспекти та наслідки взаємодії інженерно-технічних і біоінженерних об'єктів з біологічними системами, передбачувати їх взаємний вплив, правові, деонтологічні і морально-етичні наслідки використання.

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

Пререквізити: наявність ступеня бакалавра. Для ефективного опанування дисципліни бажані базові знання з вищої математики, теорії ймовірностей і математичної статистики, програмування мовою Python, основ оброблення біомедичних даних, біомедичних вимірювань та загальних принципів побудови технічних систем.

Постреквізити: результати навчання дисципліни використовуються під час проходження практики, виконання проєктних і науково-дослідних завдань, розроблення інтелектуальних компонентів біомедичних систем та підготовки магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Теми лекційних занять:

1. Інтелектуальні біотехнічні системи: поняття, архітектура, життєвий цикл та технічне завдання.
2. Формалізація, ідентифікація та експериментальне дослідження біотехнічних систем.
3. Оптимізація та інтелектуальне керування біотехнічними системами.
4. Нечіткі моделі та системи логічного виведення в біотехнічних системах.
5. Адаптивні та нейро-нечіткі моделі інтелектуальних біотехнічних систем.
6. Машинне навчання в ІБТС: дерева рішень, ансамблі та Random Forest.
7. Верифікація, валідація, інтерпретованість і стійкість інтелектуальних моделей.
8. Системне проєктування, прототипування та життєвий цикл інтелектуальної біотехнічної системи.

Теми практичних занять:

1. Постановка задачі ІБТС: об'єкт, межі системи, зацікавлені сторони, входи, виходи та критерії якості.
2. Розроблення технічного завдання на інтелектуальну біотехнічну систему.
3. Підготовка біомедичних даних: якість, пропуски, масштабування, розділення вибірок і запобігання витоку даних.
4. Формування гіпотези та планування обчислювального/модельного експерименту.
5. Ідентифікація системи та побудова базової моделі для прогнозування або класифікації.
6. Формулювання задачі оптимізації: цільова функція, обмеження, градієнтний та антиградієнтний пошук.
7. Нечіткі множини, функції належності та лінгвістичні змінні для біомедичних задач.
8. Побудова системи нечіткого логічного виведення типу Sugeno.
9. Нейро-нечітка модель: структура, гібридне навчання та адаптація параметрів.
10. Random Forest для класифікації та регресії біомедичних даних.
11. Валідація моделей: k-fold, nested CV, матриця помилок, F1, ROC-AUC, MAE/RMSE, криві навчання.
12. Інтерпретованість, важливість ознак, стійкість, зміщення та аналіз помилок інтелектуальної моделі.
13. Концептуальне і детальне проєктування ІБТС: архітектура, потоки даних, інтерфейси, трасування вимог.
14. Прототипування та захист ІС3: інтеграція моделі в ІБТС, демонстрація результатів і критичний аналіз рішення.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Machine Learning, Intelligent Data Analysis and Artificial Intelligence of Things : electronic textbook [Electronic resource] / V. B. Mokin, M. G. Pradivliannyi – Vinnytsia : VNTU, 2024. – (PDF, 230 p.) https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Mokin_2024_230.pdf
2. Zhang A., Lipton Z. C., Li M., Smola A. J. Dive into Deep Learning. Cambridge University Press, 2023. Відкритий інтерактивний підручник: <https://d2l.ai/>
3. Звенігородський О. С., Зінченко О. В., Чичкарьов Є. А., Кисіль Т. М. Штучний інтелект. Вступний курс : навчальний посібник. Київ : ДУТ, 2022. 193 с. Відкритий доступ: https://www.duikt.edu.ua/uploads/l_492_92652604.pdf
4. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R., Taylor J. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python. Springer, 2023. 607 p. Авторський відкритий ресурс і PDF: <https://www.statlearning.com/>
5. Згуровський, М. З. Вступ до штучного інтелекту: тенденції, виклики, перспективи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, магістра за спец. 122 (F3) Комп'ютерні науки та 124 Системний аналіз (F4 Системний аналіз та наука про дані) / М. З. Згуровський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1файл: 2,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 107 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73374>

Додаткова література та ресурси

1. Тимчик, Г. С. Теорія біотехнічних об'єктів. Том 2. Динаміка польових взаємодій об'єктів [Електронний ресурс] : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,02 Мбайт). – Київ : ТОВ «Інтердрук», 2017. – 225 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32594>
2. World Health Organization. Regulatory considerations on artificial intelligence for health. Geneva : WHO, 2023. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240078871>
3. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). NIST AI 100-1, 2023. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.100-1.pdf>
4. Scikit-learn User Guide. https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html
5. Scikit-fuzzy documentation. <https://scikit-fuzzy.readthedocs.io/>
6. Тимчик, Г. С. Теорія біотехнічних об'єктів. Том 1. Узагальнені фізичні властивості об'єкта [Електронний ресурс] : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 5,99 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 274 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32593>
7. Тимчик, Г. С. Теорія біотехнічних об'єктів. Том 3. Зони присутності об'єктів [Електронний ресурс] : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,57 Мбайт). – Київ : ТОВ «Інтердрук», 2019. – 387 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32595>
8. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні системи і мережі» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. В. Кирик, О. С. Богомолова. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,06 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 44 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48875>
9. Мустецов Т. М., Нечипоренко А. С. Теорія біотехнічних систем. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. 186 с.
10. Ярошук Л. Д. Інтелектуальні системи управління. Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 136 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27855>
11. Баран В. С., Власюк Г. Г., Оникієнко Ю. О., Смоленська О. І. Основи мікропроцесорної техніки: лабораторний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 140 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27992>
12. Березко Л. О., Соколов С. Є. Особливості інструментальних засобів біомедичної кіберфізичної системи. Вісник НУ «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. 2018. № 905. С. 8–14.
13. Bachynskyy M. V., Yavorsky B. I. Informational Aspects of the Haptic Stimulation by the Light for Correction of the Human State. Кибернетика и вычислительная техника. 2018. № 1(191). С. 60–75.
14. Abbass H. Intelligent Control Systems with an Introduction to System of Systems Engineering (Book Review). IEEE Computational Intelligence Magazine. 2010. Vol. 5. P. 52–53.

Програмне та інформаційне забезпечення

- Python 3.x; Jupyter Notebook або Google Colab;
- бібліотеки NumPy, pandas, matplotlib, scikit-learn; для нечіткого моделювання – scikit-fuzzy або еквівалентні відкриті інструменти;
- відкриті або синтетичні набори біомедичних даних без персональних ідентифікаторів;
- електронний курс дисципліни на платформі «Сікорський»/Google Classroom із шаблонами ноутбуків, завданнями і матеріалами для самостійної роботи.

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

Лекційні заняття. Загальний обсяг – 16 академічних годин (8 занять по 2 академічні години). Лекції поєднують системний виклад, розбір інженерних кейсів, аналіз архітектур ІБТС, короткі розрахункові приклади та обговорення критеріїв вибору інтелектуальних методів.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кількість відведених годин
Лекція 1	Інтелектуальні біотехнічні системи: поняття, архітектура, життєвий цикл та технічне завдання. Біотехнічна та інтелектуальна біотехнічна система. Біологічний об'єкт, вимірювальна підсистема, обчислювальний модуль, модель, блок прийняття рішень і виконавчий контур. Відкрита і замкнена структура. Рівні автоматизації та роль людини. Життєвий цикл системи: потреба – вимоги – концепція – модель – прототип – верифікація – валідація – експлуатація – моніторинг змін. Стейкхолдери, intended use, обмеження та критерії приймання. Структура технічного завдання, функціональні та нефункціональні вимоги, трасування вимог. Приклади ІБТС у моніторингу, біосенсоріці, біопроцесах і реабілітаційній техніці.	2
Лекція 2	Формалізація, ідентифікація та експериментальне дослідження біотехнічних систем. Перехід від професійної проблеми до математичної постановки. Вхідні, вихідні, керовані та збурювальні змінні. Спостережуваність і вимірюваність. Статичні та динамічні моделі. Параметрична і непараметрична ідентифікація. Гіпотеза, фактори та відгук. Планування експерименту, контроль змішувальних факторів, повторюваність. Підготовка даних, розділення train/validation/test, витік даних, формування baseline-моделі. Критерії адекватності та межі застосовності моделі.	2
Лекція 3	Оптимізація та інтелектуальне керування біотехнічними системами. Задача оптимізації: змінні рішення, цільова функція, обмеження і допустима область. Однокритеріальна та багатокритеріальна оптимізація. Градієнт, антиградієнт і вибір кроку; локальні та глобальні екстремуми; масштабування змінних. Оптимізація параметрів біопроцесів і налаштування інтелектуальних моделей. Особливості оптимізації за шумних вимірювань та невизначеності. Безпекові обмеження і принцип «модель не замінює контроль ризику».	2
Лекція 4	Нечіткі моделі та системи логічного виведення в біотехнічних системах. Нечіткі множини, функції належності, лінгвістичні змінні. Фазифікація, база правил, агрегування, логічне виведення. Порівняння Mamdani і Sugeno; переваги Sugeno для моделювання та керування. Формування бази правил з	2

	<i>експертного знання та даних. Приклад багатфакторного оцінювання стану біотехнічного процесу. Інтерпретованість, конфлікт правил, повнота бази правил і аналіз чутливості.</i>	
<i>Лекція 5</i>	Адаптивні та нейро-нечіткі моделі інтелектуальних біотехнічних систем. <i>Мотивація адаптивних моделей. Структура нейро-нечіткої системи типу ANFIS/Sugeno. Шари моделі, параметри передумов і висновків. Гібридне навчання, градієнтне налаштування та метод найменших квадратів. Перенавчання, регуляризація і контроль складності. Порівняння експертно заданої та навченої нечіткої моделі. Застосування для апроксимації нелінійних залежностей і адаптивного керування.</i>	<i>2</i>
<i>Лекція 6</i>	Машинне навчання в ІБТС: дерева рішень, ансамблі та Random Forest. <i>Класифікація і регресія в контексті ІБТС. Дерево рішень: поділ простору ознак, критерії impurity, глибина і перенавчання. Bagging і випадковий підпростір ознак. Алгоритм Random Forest, out-of-bag оцінювання, гіперпараметри. Особливості роботи з дисбалансом класів. Важливість ознак і permutation importance. Порівняння Random Forest із простими baseline-моделями. Приклади для біомедичних табличних даних і сигналів після виділення ознак.</i>	<i>2</i>
<i>Лекція 7</i>	Верифікація, валідація, інтерпретованість і стійкість інтелектуальних моделей. <i>Верифікація реалізації та валідація призначення. Внутрішня і зовнішня валідація. Hold-out, k-fold і nested cross-validation. Метрики класифікації: accuracy, sensitivity/recall, specificity, precision, F1, ROC-AUC; метрики регресії: MAE, RMSE, R². Калібрування, криві навчання, bootstrap-оцінювання невизначеності. Аналіз помилок, зміщення вибірки, data drift. Інтерпретованість, важливість ознак, відтворюваність і документування моделі.</i>	<i>2</i>
<i>Лекція 8</i>	Системне проектування, прототипування та життєвий цикл інтелектуальної біотехнічної системи. <i>Концептуальне та детальне проектування. Функціональна декомпозиція, потоки даних, інтерфейси і вимоги до інтеграції. Модельний і програмний прототип. Трасування «вимога – функція – тест». Ризик-орієнтоване проектування; взаємний вплив технічної і біологічної частин; правові, етичні та соціальні аспекти. Експлуатаційний моніторинг, зміна даних і повторна валідація. Документація інженерного рішення та підготовка до масштабування/впровадження.</i>	<i>2</i>
<i>Всього</i>		<i>16</i>

Практичні заняття. Загальний обсяг – 30 академічних годин (15 занять по 2 академічні години). Більшість практичних завдань виконується у Jupyter Notebook/Google Colab. Здобувачі працюють із відкритими або синтетичними біомедичними даними, реалізують моделі, документують інженерні рішення та поступово формують ІСЗ.

№ з/п	Назва теми практичних робіт та перелік основних питань	Кількість відведених годин
<i>Практичне заняття 1</i>	Постановка задачі ІБТС. <i>На прикладі заданого біомедичного кейсу визначити професійну проблему, intended use, користувачів, межі системи, біологічний об'єкт, вимірювані змінні, входи/виходи, основні ризики та критерії успіху. Побудувати</i>	<i>2</i>

	функціональну схему «біологічний об'єкт – сенсори – оброблення – модель – рішення/керування – зворотний зв'язок». Результат: односторінковий <i>problem statement</i> і контекстна діаграма.	
Практичне заняття 2	Розроблення технічного завдання. Сформуувати функціональні і нефункціональні вимоги, обмеження, вимоги до даних, продуктивності, точності, надійності, інтерфейсів і валідації. Визначити критерії приймання та тестування. Результат: чернетка технічного завдання, що надалі входить до ІСЗ.	2
Практичне заняття 3	Підготовка біомедичних даних. Імпорт і первинний аудит даних; типи змінних, пропуски, викиди, кодування категорій, масштабування. Розділення на <i>train/validation/test</i> ; побудова <i>Pipeline</i> для запобігання витоку даних. Результат: відтворений <i>preprocessing pipeline</i> та короткий <i>data quality report</i> .	2
Практичне заняття 4	Гіпотеза та планування експерименту. Сформулювати робочу гіпотезу, фактори, відгуки, контрольовані та неконтрольовані змінні. Обрати дизайн обчислювального або модельного експерименту, критерії перевірки та необхідний набір метрик. Результат: план експерименту і таблиця «гіпотеза – дані – метод – метрика – критерій прийняття».	2
Практичне заняття 5	Ідентифікація та baseline-модель. Побудувати просту базову модель регресії або класифікації, оцінити її якість на відкладених даних, проаналізувати залишки/помилки. Порівняти складність і якість. Результат: <i>baseline</i> , відносно якого оцінюватимуться інтелектуальні моделі	2
Практичне заняття 6	Оптимізаційна задача. Сформуувати цільову функцію та обмеження для модельної біотехнічної задачі. Реалізувати градієнтний/антиградієнтний пошук для простої функції, дослідити вплив кроку і масштабування. Візуалізувати траєкторію оптимізації. Результат: <i>notebook</i> із обґрунтуванням параметрів і висновками щодо збіжності	2
Практичне заняття 7	Нечіткі множини та лінгвістичні змінні. Для двох-трьох біомедичних показників визначити універсум, терми та функції належності; перевірити покриття діапазону й перетини. Результат: графіки функцій належності, таблиця лінгвістичних змінних і пояснення фізичного змісту.	2
Практичне заняття 8	Система Sugeno. Сформуувати базу правил і побудувати нечітку систему Sugeno для багатофакторної оцінки/керування. Реалізувати обчислення ступенів активації правил і агрегованого виходу. Результат: робочий <i>notebook</i> і поверхня відгуку системи.	2
Практичне заняття 9	Нейро-нечітка модель. На спрощеному прикладі відтворити логіку адаптивної Sugeno/ANFIS-моделі: структуру шарів, параметри, прямий прохід, принцип гібридного навчання. За можливості використати готову реалізацію або власний мінімальний код для апроксимації. Результат: порівняння експертної та адаптивної нечіткої моделі.	2
Практичне заняття 10	Random Forest. Побудувати <i>RandomForestClassifier</i> або <i>RandomForestRegressor</i> для біомедичного набору даних. Виконати базовий підбір гіперпараметрів, оцінити <i>OOB/validation quality</i> , проаналізувати важливість ознак.	2

	<i>Результат: модель, метрики і короткий висновок про придатність для ІБТС.</i>	
Практичне заняття 11	Валідація моделей. <i>Реалізувати k-fold CV; для задачі класифікації побудувати confusion matrix, precision/recall/F1 та ROC-AUC, для регресії – MAE/RMSE/R². Побудувати learning curve; за потреби застосувати nested CV для підбору гіперпараметрів. Результат: валідаційний звіт з інтервалами/варіативністю оцінок.</i>	2
Практичне заняття 12	Інтерпретованість і стійкість. <i>Проаналізувати permutation importance, помилки на підгрупах/діапазонах, чутливість до шуму або пропусків, потенційне зміщення вибірки. Визначити технічні та біологічні наслідки помилкових прогнозів. Результат: risk-and-error analysis для обраної моделі.</i>	2
Практичне заняття 13	Концептуальне і детальне проєктування. <i>Сформуувати архітектуру ІБТС, описати модулі, потоки даних, інтерфейси, формат вхідних/вихідних повідомлень, точки контролю якості, принципи fail-safe. Побудувати таблицю трасування вимог до функцій і тестів. Результат: архітектурна схема та фрагмент design specification.</i>	2
Практичне заняття 14	Прототипування та захист ІСЗ. <i>Представити інтегрований прототип/ноутбук і проєктну документацію. Продемонструвати виконання ключового сценарію, метрики, обмеження моделі та план валідації. Короткий захист із відповідями на запитання і критичним аналізом прийнятих рішень. Результат: завершене ІСЗ та рекомендації щодо подальшого вдосконалення</i>	2
Практичне заняття 15	МКР	2
Всього		30

Індивідуальне семестрове завдання (ІСЗ): концептуальний проєкт інтелектуальної біотехнічної системи

ІСЗ виконується індивідуально або, за погодженням із викладачем, у малій проєктній групі з чітко визначеним особистим внеском кожного здобувача. Завдання полягає у розробленні концепції та обчислювального прототипу ІБТС для конкретної біомедичної/біотехнологічної задачі. Обов'язкові складові ІСЗ:

- постановка проблеми, intended use, користувачі та межі системи;
- технічне завдання: функціональні/нефункціональні вимоги, критерії приймання і обмеження;
- архітектура ІБТС і опис взаємодії біологічної та технічної частин;
- опис даних, джерел, preprocessing та заходів проти витоку даних;
- обґрунтування вибору інтелектуального методу та baseline для порівняння;
- обчислювальний прототип у Jupyter/Colab або еквівалентному середовищі;
- валідація моделі, аналіз помилок, інтерпретованість і обмеження застосування;
- аналіз технічних, біологічних, правових, етичних, соціальних та експлуатаційних аспектів;
- коротка проєктна записка (орієнтовно 8–12 сторінок без додатків) і презентація/демонстрація.

6. Самостійна робота здобувача

Загальний обсяг самостійної роботи – 74 години. Орієнтовний розподіл:

- підготовка до практичних занять, завершення notebook-завдань та коротких звітів – 25 год.;
- виконання ІСЗ (технічне завдання, прототип, валідація, документація і підготовка захисту) – 15 год.;
- підготовка до модульної контрольної роботи – 4 год.;
- підготовка до екзамену – 30 год.

Політика та контроль**7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)****Відвідування та робота на заняттях**

Присутність або відсутність здобувача на занятті не оцінюється балами. Практичні заняття передбачають виконання конкретного інженерного або обчислювального завдання, тому пропущене завдання має бути виконане самостійно і подане у встановлений строк. Результат практичного заняття оцінюється за виконаною роботою, а не за фактом присутності.

Дедлайни

Завдання практичного заняття подається, як правило, до початку наступного практичного заняття, якщо інший строк не зазначено в електронному курсі. Тема ІСЗ погоджується до кінця 4-го навчального тижня; чернетка технічного завдання – до кінця 7-го тижня; проміжний прототип – до кінця 11-го тижня; завершене ІСЗ і матеріали захисту – не пізніше 14-го навчального тижня. МКР проводиться у визначену викладачем дату, доведена до відома здобувачів завчасно.

Пропущені контрольні заходи та доопрацювання

Непроходження синхронного контрольного заходу без поважної причини оцінюється у 0 балів. За документально підтверджених поважних або форс-мажорних обставин викладач визначає інший строк. Практичне завдання, ІСЗ або МКР, що не досягли нижньої межі позитивного оцінювання, вважаються невиконаними та мають бути доопрацьовані/повторно виконані відповідно до умов електронного курсу до початку семестрового контролю.

Заохочувальні бали

За творчі роботи, безпосередньо пов'язані з тематикою дисципліни, можуть нараховуватися заохочувальні бали, що не входять до базової 100-бальної шкали; сума заохочувальних балів не перевищує 10, а підсумковий рейтинг – 100 балів. Орієнтовні підстави: участь у науковому заході з апробацією результатів ІСЗ; підготовка відкритого навчального notebook/демонстраційного програмного модуля; підготовка тез або рукопису за тематикою ІБТС.

Академічна доброчесність та використання ШІ

Код, тексти, графіки та інші результати, запозичені з зовнішніх джерел, мають супроводжуватися коректним посиланням. Використання генеративних систем ШІ допускається як допоміжного інструмента для пояснення, рефакторингу коду, пошуку помилок або підготовки чернеток за умови критичної перевірки результату, самостійного розуміння поданого рішення та декларування істотного використання такого інструмента. Не допускається подання згенерованого коду/тексту як власного без перевірки та пояснення.

Робота з біомедичними даними

У навчальних завданнях використовуються відкриті, синтетичні або належним чином знеособлені дані. Забороняється завантажувати до сторонніх сервісів персональні медичні дані або іншу конфіденційну інформацію. Усі висновки моделей у межах дисципліни мають навчальний/дослідницький характер і не трактуються як клінічні рекомендації.

Дистанційне та інклюзивне навчання

За потреби заняття можуть проводитися синхронно дистанційно із використанням платформи відеоконференцій і електронного курсу. Формат notebook-завдань, презентацій та захисту ІСЗ може адаптуватися до особливих освітніх потреб без зниження вимог до результатів навчання.

Політика використання штучного інтелекту.

Використання штучного інтелекту регламентується «Політикою використання штучного інтелекту для академічної діяльності в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (<https://osvita.kpi.ua/node/1225>). Усі навчальні завдання з дисципліни мають бути результатом власної оригінальної роботи здобувача. Використання штучного інтелекту для автоматичної генерації відповідей без подальшого їх аналізу та доопрацювання заборонено. Здобувачам не рекомендується покладатися на штучний інтелект, як на єдине джерело інформації. Важливо перевіряти та аналізувати отримані дані з наукових джерел. Усі випадки використання штучного інтелекту для виконання завдань мають бути чітко вказані та задокументовані. Це стосується як використання текстових генераторів, так й інших інструментів штучного інтелекту.

Використання штучного інтелекту має відповідати принципам академічної доброчесності. Недотримання цього положення розглядатиметься як порушення академічної етики.

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

Для дисципліни з семестровим контролем у формі екзамену застосовується PCO другого типу (PCO-2): стартова складова за результатами поточного контролю – 50 балів, екзаменаційна складова – 50 балів. Підсумкова рейтингова оцінка дорівнює сумі стартових балів і балів за екзамен.

Контрольний захід	Кількість	Максимум, балів	Нижня межа позитивного результату
Практичні роботи	15 × 2 бали	30	1,2 бала за кожну роботу
Модульна контрольна робота	1	10	6 балів
Індивідуальне семестрове завдання	1	10	6 балів
Стартова складова		50	-
Екзамен	1	50	30 балів
Підсумковий рейтинг		100	60 балів

Критерії оцінювання практичної роботи (максимум 2 бали)

- 2,0 бала – завдання виконано повністю і коректно; код/розрахунки відтворювані, висновки обґрунтовані, результати інтерпретовані в контексті ІБТС;
- 1,2–1,9 бала – основна частина завдання виконана правильно, але наявні окремі неточності, неповне обґрунтування або недостатній аналіз результатів;
- 0 балів – результат не досягає мінімально достатнього рівня; робота потребує доопрацювання.

Модульна контрольна робота (10 балів)

МКР охоплює ключові теоретичні та прикладні питання лекцій 1–7 і виконується у формі тестових, коротких розрахункових та/або ситуаційних завдань. 9–10 балів – системне і точне розуміння матеріалу; 7–8,9 – правильне виконання з незначними неточностями; 6–6,9 – мінімально достатнє розуміння; менше 6 – 0 балів, необхідне повторне виконання у передбачених політикою випадках.

Індивідуальне семестрове завдання (10 балів)

Критерій	Максимум	Зміст оцінювання
Постановка задачі та технічне завдання	2	Повнота вимог, обмежень, критеріїв приймання та зв'язок із біомедичною проблемою.
Архітектура та інженерне обґрунтування	2	Логічність структури ІБТС, взаємодія біологічної і технічної частин, трасування вимог.
Інтелектуальна модель/прототип	3	Коректність даних, методу, реалізації, baseline та обчислювального прототипу.
Валідація, інтерпретація та аналіз ризиків	2	Метрики, аналіз помилок, обмеження, технічні/біологічні/етичні аспекти.
Захист і якість документації	1	Структурованість матеріалів, відповідність джерел, здатність обґрунтувати рішення.

Позитивний результат ІСЗ – від 6 балів. Робота з результатом нижче 6 балів вважається невиконаною та потребує доопрацювання.

Календарний контроль

Календарний контроль проводиться двічі на семестр. Позитивний результат календарного контролю встановлюється за умови виконання запланованих на відповідну дату обов'язкових робіт і набрання не менше 50 % від максимально можливої на цей момент кількості рейтингових балів. Орієнтовно: перша контрольна точка – після виконання практичних робіт 1–7 і погодження теми ІСЗ; друга – після практичних робіт 1–13, виконання МКР та наявності проміжного прототипу ІСЗ.

Умови допуску до екзамену

Відсутність заборгованостей за практичними роботами, позитивно виконані МКР та ІСЗ, а також стартовий рейтинг не менше 25 балів із 50 можливих. У разі наявності невиконаних обов'язкових заходів або стартового рейтингу нижче встановленого мінімуму здобувач до екзамену не допускається до усунення заборгованості у встановленому порядку.

Екзамен (50 балів)

Екзамен проводиться у письмовій, усній або комбінованій формі відповідно до оголошеної викладачем процедури та містить два теоретико-аналітичні питання і одне ситуаційне/проектне завдання:

- теоретико-аналітичне питання 1 – до 15 балів;
- теоретико-аналітичне питання 2 – до 15 балів;
- ситуаційне або проектне завдання з формалізації, вибору методу, аналізу результатів чи архітектури ІБТС – до 20 балів.

Для питання на 15 балів: 15 – повна, точна й аргументована відповідь; 13–14,9 – незначні неточності; 9–12,9 – основні положення засвоєні, але аналіз неповний; менше 9 – 0 балів за питання. Для завдання на 20 балів: 20 – повне й обґрунтоване рішення; 17–19,9 – незначні неточності; 12–16,9 – мінімально достатнє рішення; менше 12 – 0 балів за завдання. Позитивний результат екзамену – не менше 30 балів із 50.

Підсумковий рейтинг $R = R_{\text{старт}} (0-50) + R_{\text{екз}} (0-50)$.

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)

Перелік питань для підготовки до МКР та семестрового контролю наведено в Додатку 2. Під час екзамену акцент робиться не лише на відтворенні визначень, а й на здатності формалізувати інженерну проблему, обґрунтувати вибір методу, інтерпретувати результати та оцінити обмеження рішення.

Визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті, здійснюється відповідно до чинних положень КПІ ім. Ігоря Сікорського. За погодженням із викладачем окремі практичні результати можуть бути підтверджені релевантними сертифікатами/проектами за умови перевірки фактичного досягнення відповідних результатів навчання.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: к.т.н., доц. Бесараб Олександр Борисович.

Ухвалено кафедрою ТМБ (протокол № 21 від 20 червня 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №12 від 30 червня 2025 р.)

Додаток 1. Орієнтовні теми ІСЗ

1. Інтелектуальна система контролю параметрів біореактора з прогнозуванням відхилень.
2. Модель адаптивного керування параметрами культивування клітин на основі нечіткої логіки.
3. Система оцінювання якості сигналу пульсоксиметрії та виявлення артефактів.
4. Інтелектуальна корекція дрейфу біосенсора за допомогою регресійної моделі.
5. Система класифікації станів за ознаками біомедичного сигналу з використанням Random Forest.
6. Прогнозування параметрів біотехнологічного процесу та вибір режиму роботи системи.
7. Нечітка система багатокритеріального оцінювання стану біотехнічного об'єкта.
8. Нейро-нечітка модель апроксимації нелінійної залежності в біомедичній вимірювальній системі.
9. Інтелектуальний модуль контролю якості даних для системи медичного моніторингу.
10. Система виявлення аномалій у поточних біомедичних даних.
11. Інтелектуальна система підтримки налаштування режимів лабораторного/біотехнологічного обладнання.
12. Модель оптимізації параметрів 3D-біодруку за кількома критеріями якості.
13. Система прогнозування ризику відмови сенсорного каналу у біотехнічній системі.
14. Модель оцінювання надійності/довіри до прогнозу інтелектуального модуля ІБТС.
15. Цифровий прототип замкненої ІБТС із сенсорним входом, моделлю та керувальним виходом.
16. Інтелектуальний модуль для аналізу параметрів реабілітаційного пристрою або носимого сенсора.
17. Порівняльний проєкт: нечітка система Sugeno проти Random Forest для однієї біомедичної задачі.
18. Система пояснюваного машинного навчання для оцінювання важливості біомедичних ознак.
19. Інтелектуальна система моніторингу стабільності моделі та виявлення data drift.
20. Власна тема за погодженням із викладачем, що відповідає предмету дисципліни та дозволяє продемонструвати повний цикл проєктування ІБТС.

Додаток 2. Перелік питань для підготовки до МКР та семестрового контролю

1. Поняття біотехнічної та інтелектуальної біотехнічної системи. Основні структурні компоненти.
2. Відкрита і замкнена структура ІБТС. Роль зворотного зв'язку.
3. Біологічний об'єкт як складова системи: варіабельність, невизначеність і обмеження моделювання.
4. Життєвий цикл ІБТС: від потреби до експлуатаційного моніторингу.
5. Intended use, користувачі, межі системи та критерії приймання.
6. Функціональні та нефункціональні вимоги до ІБТС.
7. Структура і призначення технічного завдання.
8. Трасування вимог: «вимога – функція – тест».
9. Формалізація медико-інженерної задачі: змінні, параметри, критерії і обмеження.
10. Вхідні, вихідні, керовані та збурювальні змінні біотехнічної системи.
11. Статичні та динамічні моделі біотехнічних систем.
12. Поняття ідентифікації системи. Параметричні та непараметричні підходи.
13. Гіпотеза, фактори, відгук та контроль змішувальних факторів.
14. Основи планування обчислювального/модельного експерименту.
15. Розділення train/validation/test та призначення кожної вибірки.
16. Витік даних (data leakage): причини, наслідки і способи запобігання.
17. Baseline-модель: призначення і критерії вибору.
18. Поняття цільової функції, змінних рішення та обмежень у задачі оптимізації.
19. Градієнт і антиградієнт. Вибір напрямку та кроку оптимізації.
20. Локальні та глобальні екстремуми. Вплив масштабу змінних на оптимізацію.
21. Однокритеріальна та багатокритеріальна оптимізація в ІБТС.
22. Нечітка множина та функція належності.
23. Лінгвістична змінна, терм і універсум дискурсу.
24. Основні типи функцій належності та принципи їх вибору.
25. Структура системи нечіткого логічного виведення.
26. База нечітких правил: повнота, конфлікти та інтерпретованість.
27. Порівняння підходів Mamdani та Sugeno.
28. Алгоритм нечіткого виведення Sugeno.
29. Формування поверхні відгуку нечіткої системи.
30. Аналіз чутливості та налаштування параметрів нечіткої моделі.
31. Принципи адаптивної нейро-нечіткої системи типу ANFIS.
32. Параметри передумов і параметри висновків у нейро-нечіткій моделі.
33. Гібридне навчання нейро-нечіткої моделі.
34. Перенавчання адаптивних моделей і способи його контролю.
35. Задачі класифікації та регресії у біотехнічних системах.
36. Дерево рішень: структура, критерії поділу, глибина та перенавчання.
37. Bagging та принцип ансамблевого навчання.
38. Алгоритм Random Forest для класифікації.
39. Алгоритм Random Forest для регресії.
40. Out-of-bag оцінювання та його призначення.
41. Основні гіперпараметри Random Forest і їхній вплив на модель.
42. Дисбаланс класів і підходи до коректного оцінювання моделі.
43. Важливість ознак у Random Forest та обмеження impurity-based importance.
44. Permutation importance: принцип і застосування.
45. Hold-out та k-fold cross-validation.
46. Nested cross-validation і її призначення.
47. Матриця помилок і основні метрики класифікації.
48. Sensitivity/recall, specificity, precision і F1-score.
49. ROC-крива та ROC-AUC: інтерпретація і обмеження.

50. MAE, RMSE та R^2 у задачах регресії.
51. Криві навчання та діагностика недонавчання/перенавчання.
52. Верифікація програмної реалізації та валідація моделі.
53. Внутрішня і зовнішня валідація інтелектуальної моделі.
54. Інтерпретованість і пояснюваність моделей у біомедичній інженерії.
55. Аналіз помилок моделі та оцінювання наслідків хибних рішень.
56. Data drift та необхідність експлуатаційного моніторингу.
57. Концептуальне і детальне проєктування ІБТС.
58. Функціональна декомпозиція, потоки даних та інтерфейси між модулями.
59. Прототип як етап інженерного життєвого циклу.
60. Взаємний вплив технічної та біологічної частин ІБТС.
61. Ризик-орієнтоване проєктування інтелектуальної біотехнічної системи.
62. Правові, деонтологічні та морально-етичні аспекти використання ІБТС.
63. Порівняйте нечітку систему Sugeno та Random Forest для задачі з малим обсягом даних і наявним експертним знанням.
64. Запропонуйте структуру технічного завдання для заданої інтелектуальної біотехнічної системи.
65. Для заданого біомедичного набору даних обґрунтуйте схему підготовки даних і валідації моделі.
66. Для заданої ІБТС сформулюйте цільову функцію оптимізації, обмеження та критерії прийнятності.
67. За описом результатів моделі визначте можливі ознаки перенавчання та запропонуйте перевірки.
68. За заданою матрицею помилок розрахуйте та інтерпретуйте основні метрики класифікації.
69. За заданою архітектурою ІБТС визначте критичні точки взаємодії біологічної та технічної частин і запропонуйте заходи контролю.
70. Сформууйте мінімальний план верифікації та валідації інтелектуального модуля для заданого призначення.