Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра трансляційної медичної біоінженерії

Медичні експертні системи

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	*Другий (магістреський)*
Галузь знань	*G – Інженерія, виробництво та будівництво*
Спеціальність	*G22 – Біомедична інженерія*
Освітня програма	*Регенеративна та біофармацевтична інженерія, Медична інженерія*
Статус дисципліни	*вибіркова*
Форма навчання	*Очна (денна)*
Рік підготовки, семестр	*1 рік, 2 семестр*
Обсяг дисципліни	*5 кредитів ECTS (150 годин: Лекц. 16 год, Практ. 30 год, СРС. 104 год)*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Іспит / модульна контрольна робота / реферат*
Розклад занять	*https://schedule.kpi.ua*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *к.т.н., доц., Бесараб Олександр Борисович, besarab@lll.kpi.ua* Практичні: *к.т.н., доц., Бесараб Олександр Борисович, besarab@lll.kpi.ua*
Розміщення курсу	*Google classroom, долучення до курсу за запрошенням викладача.*

Програма навчальної дисципліни

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

Що буде вивчатися

Принципи побудови та застосування медичних експертних систем і систем підтримки прийняття рішень на основі методів штучного інтелекту для розв'язання задач біомедичної інженерії. Будуть розглянуті методи представлення та формалізації експертних знань, алгоритми пошуку і логічного виведення, прийняття рішень в умовах невизначеності, методи нечіткої логіки, нечіткої кластеризації та нейро-нечіткого моделювання. Особлива увага приділятиметься використанню експертних систем для аналізу та інтерпретації біомедичної інформації, підтримки прийняття рішень, а також моделювання й керування біотехнічними, біоінженерними та біофармацевтичними процесами.

Чому це цікаво/треба вивчати

Експертні системи та системи підтримки прийняття рішень є важливими інструментами сучасної біомедичної інженерії, оскільки дають змогу формалізувати професійні знання, аналізувати складну біомедичну інформацію та обґрунтовувати рішення в умовах неповноти й невизначеності даних. Їх застосування є актуальним для медичної діагностики, аналізу біомедичних даних, керування біотехнічними та біоінженерними системами, а також моделювання й оптимізації технологічних процесів у регенеративній та біофармацевтичній інженерії.

Чому можна навчитися

Принципи функціонування та організації експертних систем.

Особливості взаємодії з експертною системою у якості користувача, інженера знань та експерта.

Моделі представлення знань у експертних системах.

Алгоритми пошуку та прийняття рішень у експертних системах

Як можна користуватися набутими знаннями і уміннями

Набуті знання та уміння можна застосовувати під час розроблення, налаштування та використання медичних експертних систем і систем підтримки прийняття рішень, формалізації професійних знань, аналізу та інтерпретації біомедичної інформації, а також для побудови моделей прийняття рішень в умовах невизначеності. Вони можуть бути використані для розв'язання задач біомедичної інженерії, пов'язаних з аналізом даних, підтримкою діагностичних і технологічних рішень, моделюванням та керуванням біотехнічними, біоінженерними і біофармацевтичними системами та процесами.

Вивчення освітнього компонента посилює такі загальні компетентності:

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, проєктного та виробничо-організаційного характеру.*

Спеціальні (фахові) компетентності:

ФК 01 – здатність вирішувати комплексні проблеми біомедичної інженерії із застосовуванням методів математики, природничих та інженерних наук;*

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, проєктувати 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 03 – проєктувати, конструювати, вдосконалювати, застосовувати медико-технічні та біоінженерні вироби, прилади, апарати і системи, а також супроводжувати їх експлуатацію;*

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 проєкти біоінженерних об'єктів та систем медико-технічного призначення та здійснювати їх інформаційне і методичне забезпечення.*

**Примітка: ЗК, ФК та ПРН зазначені відповідно до поточної версії опису освітньо-професійої програми «Регенеративна та біофармацевтична інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти.*

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

Наявність вищої освіти рівня «бакалавр».

3. Зміст навчальної дисципліни

Теми лекційних занять:

1. Медичні експертні системи та системи підтримки прийняття рішень: основні поняття, структура і класифікація.
2. Представлення задач та методи пошуку рішень в експертних системах.
3. Знання та моделі їх представлення в експертних системах.
4. Прийняття рішень в умовах невизначеності.
5. Нечіткі множини та нечітке представлення знань.
6. Системи нечіткого логічного виведення та прийняття рішень.
7. Нейронні та нейро-нечіткі моделі в експертних системах.
8. Побудова та налаштування медичних експертних систем на основі нечітких моделей.

Теми практичних занять:

1. Формалізація задач та їх представлення в просторі станів.
2. Методи неінформованого пошуку рішень.
3. Евристичні методи пошуку рішень.
4. Інтелектуальні оптимізаційні алгоритми пошуку.
5. Байєсівський підхід до прийняття рішень в експертних системах.
6. Адаптивне оцінювання ймовірностей в експертних системах.
7. Нечіткі множини та функції належності.
8. Формування бази нечітких знань експертної системи.
9. Побудова системи нечіткого логічного виведення Мамдані.
10. Побудова системи нечіткого логічного виведення Сугено.
11. Порівняння алгоритмів нечіткого логічного виведення.
12. Дослідження методів дефазифікації.
13. Нечітка кластеризація біомедичних даних.
14. Автоматизований синтез і налаштування нечітких моделей.
15. Розроблення медичної експертної системи для розв'язання задачі біомедичної інженерії.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. *Експертні методи в автоматизованих системах керування. Формування та напрями використання експертних знань [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. Д. Ярощук. – 2-ге вид., допов. – Електронні текстові дані (1 файл: 880.82 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 43 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51904*

2. *Шаповалова, С. І. Програмний інструментарій розробки експертних систем: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки / С. І. Шаповалова, О. О. Мажара ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,7 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 56 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42587*

3. *Chen T, Carter J, Mahmud M, Khuman AS, editors. Artificial Intelligence in Healthcare [Internet]. Singapore: Springer Nature Singapore; 2022. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5272-2*

4. *Cohen TA, Patel VL, Shortliffe EH, editors. Intelligent Systems in Medicine and Health [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2022. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-031-09108-7*

5. *Poole D. L., Mackworth A. K. Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents. 3rd ed. Cambridge University Press, 2023.. URL: https://artint.info/3e/html/ArtInt3e.html*

6. *Bouhadra K, Forest F. Knowledge-based and Expert Systems in Prognostics and Health Management: a Survey. Int J Progn Health Manag [Internet]. 2024 Oct 16];15(2). Available from: https://doi.org/10.36001/ijphm.2024.v15i2.3986*

Додаткова

1. *Продеус А.М. Експертні системи в медицині: Навчальний посібник / А.М. Продеус, Ю.С. Синєкоп, Є. Я. Швець та ін. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2014. - 332 с.: іл. https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/396*

2. *Експертні системи: Інформатико-технологічні засади експертних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності «Радіоелектронні апарати та засоби» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Ю. М. Калніболотський, І. В. Редько, Н. О. Бондаренко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,27 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1588*

7. *Інтелектуальні системи управління. Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27855*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекції. Кожна лекція триває 2 академічні години. Всього 8 лекційних занять. Нижче наведено опис кожного заняття.

№ з/п	*Назва теми лекції та перелік основних питань*	*Кількість відведених годин*
Лекція 1	***Медичні експертні системи та системи підтримки прийняття рішень: основні поняття, структура і класифікація.*** *Поняття експертної системи та системи підтримки прийняття рішень.*	**2**

	Історія розвитку. Типова архітектура експертної системи. База знань, механізм логічного виведення, інтерфейс користувача, підсистема пояснень. Класифікація експертних систем. Приклади класичних і сучасних експертних систем у медицині та біомедичній інженерії.	
Лекція 2	***Представлення задач та методи пошуку рішень в експертних системах.*** *Представлення задач у просторі станів. Декомпозиція задач і графи розв'язання. Методи неінформованого пошуку: пошук у глибину та ширину. Евристичний пошук. Проблема комбінаторного вибуху. Використання пошукових алгоритмів для розв'язання задач біомедичної інженерії.*	***2***
Лекція 3	***Знання та моделі їх представлення в експертних системах.*** *Відмінності між даними та знаннями. Бази знань, формалізація та структурування експертних знань. Логічні моделі представлення знань. Продукційні правила та системи типу «ЯКЩО–ТО». Пряме і зворотне логічне виведення. Семантичні мережі та пояснюваність результатів експертної системи.*	***2***
Лекція 4	***Прийняття рішень в умовах невизначеності.*** *Неповнота, неоднозначність і невизначеність знань. Умовна ймовірність і байєсівський підхід. Коефіцієнти певності. Формування та оновлення оцінок імовірності. Застосування ймовірнісного виведення у медичних експертних системах.*	***2***
Лекція 5	***Нечіткі множини та нечітке представлення знань.*** *Нечіткі множини, лінгвістичні змінні та функції належності. Основні операції над нечіткими множинами. Нечіткі правила. Нечітка логіка як інструмент формалізації експертних знань в умовах невизначеності.*	***2***
Лекція 6	***Системи нечіткого логічного виведення та прийняття рішень.*** *Етапи нечіткого виведення: фаззифікація, агрегування, активація, акумуляція та дефаззифікація. Алгоритми Мамдані, Сугено, Цукамото і Ларсена. Методи дефаззифікації. Порівняння моделей нечіткого виведення та вибір їх для задач біомедичної інженерії.*	***2***
Лекція 7	***Нейронні та нейро-нечіткі моделі в експертних системах.*** *Поняття штучної нейронної мережі та математичної моделі нейрона. Навчання нейронних мереж. Поєднання нейронних мереж і нечітких систем. Нейро-нечіткі моделі як засіб автоматизованого формування та налаштування правил прийняття рішень.*	***2***
Лекція 8	***Побудова та налаштування медичних експертних систем на основі нечітких моделей.*** *Нечітка кластеризація даних. Формування термів лінгвістичних змінних за експериментальними даними. Автоматизований синтез і*	***2***

	налаштування нечітких моделей. Послідовність розроблення експертної системи: постановка задачі, формування бази знань, вибір механізму виведення, тестування, оцінювання та інтерпретація результатів.	
Всього		***16***

Практичні роботи *проводитимуться на ПК у середовищі Jupyter Notebook (Python 3).*

Практичні заняття. Кожне практичне заняття триває 2 академічні години. Всього 15 практичних занять. Нижче наведено опис кожного заняття та запланованої роботи.

№ з/п	***Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)***	***Кількість відведених годин***
Практичне заняття 1	***Формалізація задач та їх представлення в просторі станів****. Постановка задачі експертною системою, визначення початкового і цільового станів, побудова графа станів та декомпозиція задачі на підзадачі.*	***2***
Практичне заняття 2	***Методи неінформованого пошуку рішень.*** *Реалізація та дослідження алгоритмів пошуку в глибину та пошуку в ширину. Порівняння їх ефективності для різних структур простору станів.*	***2***
Практичне заняття 3	***Евристичні методи пошуку рішень.*** *Реалізація та дослідження евристичних алгоритмів пошуку. Формування евристичної функції та оцінювання її впливу на пошук рішення.*	***2***
Практичне заняття 4	***Інтелектуальні оптимізаційні алгоритми пошуку.*** *Ознайомлення із застосуванням жадібних, генетичних та/або мурашиних алгоритмів для пошуку рішень у задачах біомедичної інженерії.*	***2***
Практичне заняття 5	***Байєсівський підхід до прийняття рішень в експертних системах****. Застосування рекурентної формули Байєса. Розроблення демонстраційної моделі системи підтримки прийняття рішень на основі апріорних та умовних імовірностей.*	***2***
Практичне заняття 6	***Адаптивне оцінювання ймовірностей в експертних системах****. Моделювання процесу адаптивного уточнення апріорних та умовних імовірностей на основі накопичення нових даних.*	***2***
Практичне заняття 7	***Нечіткі множини та функції належності****. Побудова і дослідження функцій належності різних типів. Виконання операцій над нечіткими множинами. Формування лінгвістичних змінних для опису біомедичних та біоінженерних параметрів.*	***2***
Практичне заняття 8	***Формування бази нечітких знань експертної системи****. Розроблення системи лінгвістичних змінних, термів і*	***2***

	продукційних правил типу «ЯКЩО–ТО». Формалізація експертних знань для задачі біомедичної інженерії.	
Практичне заняття 9	***Побудова системи нечіткого логічного виведення Мамдані.*** *Фаззифікація, агрегування, активація, акумуляція та дефаззифікація. Дослідження впливу параметрів моделі на результат прийняття рішення.*	***2***
Практичне заняття 10	***Побудова системи нечіткого логічного виведення Сугено****. Розроблення моделей Сугено з константними та лінійними функціями виходу. Аналіз особливостей застосування моделі для задач біомедичної інженерії.*	***2***
Практичне заняття 11	***Порівняння алгоритмів нечіткого логічного виведення****. Порівняльне дослідження моделей Мамдані та Сугено за однакових вхідних даних і баз знань. Аналіз точності, інтерпретованості та особливостей практичного застосуванн*	***2***
Практичне заняття 12	***Дослідження методів дефазифікації****. Порівняння методів центру ваги, центру площі та модальних значень. Оцінювання впливу способу дефазифікації на результати роботи експертної системи.*	***2***
Практичне заняття 13	***Нечітка кластеризація біомедичних даних****. Кластеризація експериментальних даних для визначення структури лінгвістичних змінних та формування їх термів. Аналіз результатів нечіткої кластеризації.* ***Автоматизований синтез і налаштування нечітких моделей****. Формування цільової функції, підбір параметрів функцій належності та правил, оцінювання похибки моделі й оптимізація параметрів нечіткої системи.*	***2***
Практичне заняття 14	***Розроблення медичної експертної системи для розв'язання задачі біомедичної інженерії****. Формулювання задачі, визначення вхідних і вихідних параметрів, формування бази знань, реалізація механізму логічного виведення, тестування системи та аналіз отриманих результатів. Застосування розробленої системи для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності.*	***2***
Практичне заняття 15	***МКР***	***2***
	Всього	***30***

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Підготовка до лекційних занять - 8 годин

Підготовка до практичних занять (звітів з практичних робіт) – 28 годин.

Підготовка до МКР – 4 годин.

Підготовка реферату – 15 години.

Підготовка до іспиту – 30 годин

Самостійне опрацювання тем - 19 годин

Загальний обсяг самостійної роботи – 104 години.

Підготовка реферату

Самостійна робота передбачає підготовку реферату за однією з актуальних тем, пов'язаних із розробленням та застосуванням медичних експертних систем і систем підтримки прийняття рішень у біомедичній інженерії. Метою роботи є поглиблення та систематизація знань, отриманих під час лекційних і практичних занять, формування навичок самостійного пошуку, критичного аналізу та узагальнення науково-технічної інформації, а також оцінювання можливостей застосування сучасних методів штучного інтелекту для розв'язання задач біомедичної інженерії.

Рекомендований розподіл часу:

1. **Вибір і конкретизація теми реферату, формулювання мети та завдань – 0,5 год.** Визначення об'єкта розгляду та основних питань, які мають бути висвітлені.

2. **Пошук і добір інформаційних джерел – 2 год.** Опрацювання наукових публікацій, навчальної літератури, нормативних і технічних матеріалів, електронних ресурсів та інших актуальних джерел за тематикою роботи.

3. **Аналіз та систематизація відібраних матеріалів – 2,5 год.** Порівняння підходів і методів, визначення їх переваг, обмежень та можливостей застосування у біомедичній інженерії.

4. **Підготовка основної частини реферату – 7 год.** Послідовне викладення теоретичних положень, опис і аналіз методів, алгоритмів, моделей або конкретних прикладів застосування експертних систем і систем підтримки прийняття рішень.

5. **Формулювання висновків та оформлення списку використаних джерел – 2 год.** Узагальнення результатів аналізу, визначення перспектив застосування розглянутих підходів.

6. **Редагування, перевірка та остаточне оформлення реферату – 1 год.** Перевірка логічності викладення, відповідності змісту поставленим завданням, коректності термінології, посилань і оформлення роботи.

Перелік пропонованих тем Рефератів у Додатку 1. За погодженням із викладачем студент може запропонувати іншу тему в рамках даного курсу.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Студентам можуть нараховуватися заохочувальні бали. Сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів.

Заохочувальні бали:

Критерій	*Ваговий бал*
Створення інфографіки або іншого засобу графічної інтерпретації інформації для однієї з тем курсу	*5 балів*

Критерій	*Ваговий бал*
Участь у міжнародних, всеукраїнських наукових заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни): публікація тез доповідань чи статей	*10 балів*

Відвідування занять

Бали за присутність / відсутність на заняттях не виставляються. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються практичні навички, необхідні для виконання практичних робіт.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Пропущені контрольні заходи оцінювання

Контрольні заходи оцінювання, виконання яких передбачено на занятті, проводяться у завчасно визначений день, який озвучується студентам на першому тижні освітнього процесу. Виконання таких контрольних заходів оцінювання в інший день дозволяється за вагомих та/або форс-мажорних обставин.

Результат модульної контрольної роботи для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент має можливість написати модульну контрольну роботу у інший час за погодженням із викладачем. Перенесення строків проходження тесту можливе лише з поважних причин (хвороба, інші форс-мажорні обставини).

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студент має право оскаржити результати контрольного заходу згідно затвердженого положення Про апеляції в КПІ імені Ігоря Сікорського (затверджено наказом №НОН/128/2021 від 20.05.2021 р.) - https://osvita.kpi.ua/index.php/node/182

Академічна доброчесність

У разі використання контенту, захищеного авторським правом, результатів аналітичних досліджень та/або іншої інформації, студенти мають обов'язково вказувати джерело.

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.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Політика використання штучного інтелекту

Політика використання штучного інтелекту та її принципи регламентуються наказом «Політика використання штучного інтелекту для академічної діяльності в КПІ ім. Ігоря Сікорського». Детальніше: https://osvita.kpi.ua/node/1225

Дистанційне навчання

Проходження он-лайн курсів передбачено у випадку форс мажорних обставин (зокрема, карантинних заходів) та для інклюзивного навчання студентів з вадами опорно-рухового апарату.

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна розрахована на вивчення для студентів із особливими освітніми потребами, але слід враховувати велике навантаження на зоровий апарат. В залежності від особливих потреб студентів можливе використання дистанційного навчання.

Навчання іноземною мовою

Навчання англійською мовою здійснюється лише для студентів-іноземців.

За бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою англомовних онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Поточний контроль:

Модульна контрольна робота (МКР) проводиться у вигляді тесту на останньому практичному занятті та дозволяє отримати 40 балів.: 40 питань по 1 балу за кожну правильну віповідь.

Зараховуються лише результати тестів у яких студент відповів вірно не менше ніж на 60% запитань.

Реферат оцінюється максимум у 20 балів.

Критерії оцінювання реферату

*Максимальна кількість балів за реферат – **20 балів**. Під час оцінювання враховуються відповідність змісту обраній темі, повнота та глибина її розкриття, використання сучасних наукових і технічних джерел, здатність до критичного аналізу й порівняння підходів, обґрунтованість висновків, самостійність роботи та якість оформлення.*

- ***19–20 балів** – тема розкрита повністю та на належному науковому рівні; матеріал логічно структурований; використано актуальні та релевантні наукові джерела; здобувач не лише описує, а й критично аналізує та порівнює методи, моделі або технології, визначає їх переваги, недоліки й обмеження; показано зв'язок розглянутих підходів із медичними експертними системами та задачами біомедичної інженерії; сформульовано самостійні, логічні та аргументовані висновки; термінологія використовується коректно; оформлення і посилання на джерела відповідають установленим вимогам.*
- ***17–18 балів** – тема розкрита повно і послідовно, використано достатню кількість актуальних джерел, наведено порівняння та аналіз розглянутих підходів. Здобувач демонструє розуміння їх практичного застосування, формулює обґрунтовані висновки. Можливі окремі несуттєві недоліки в глибині аналізу, структурі, оформленні або роботі з джерелами.*
- ***15–16 балів** – основні аспекти теми розкриті, матеріал загалом відповідає поставленим завданням, однак значна частина роботи має описовий характер. Порівняння методів, аналіз їх переваг і обмежень або оцінювання можливостей практичного застосування виконані недостатньо глибоко. Висновки відповідають змісту роботи, але частково мають узагальнений характер. Допускаються окремі недоліки оформлення та використання джерел.*
- ***13–14 балів** – тема розкрита частково; виклад містить необхідний теоретичний матеріал, але його систематизація й критичний аналіз є обмеженими. Використано переважно невелику кількість джерел або недостатньо актуальні джерела; практичні аспекти застосування експертних систем розглянуті поверхово; висновки недостатньо аргументовані. Наявні помітні недоліки структури або оформлення.*

- ***12 балів*** *– робота демонструє мінімально достатній рівень виконання: основний зміст теми представлено, проте матеріал викладено фрагментарно або переважно шляхом компіляції інформації з джерел; аналіз і порівняння підходів практично відсутні; висновки формальні або слабко пов'язані з проведеним аналізом; наявні суттєві недоліки оформлення, посилань або структури роботи.*
- ***0–11 балів*** *– тема не розкрита або зміст роботи суттєво не відповідає обраній темі; містяться принципові фактичні або термінологічні помилки; відсутній самостійний аналіз матеріалу та обґрунтовані висновки; використання джерел є неналежним або посилання відсутні; робота не відповідає встановленим вимогам. У разі встановлення порушення академічної доброчесності робота не зараховується.*

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. На момент проведення календарного контролю здобувачі мають виконати та завантажити звіти не менше ніж з 60% практичних робіт проведених на момент календарного контролю.
Практичні роботи оцінюються у форматі зараховано/незараховано і їх виконання є підготовкою до МКР.

«Зараховано» ставиться, якщо практична робота виконана в повному обсязі, програмна модель чи база знань функціонує коректно, а здобувач під час захисту впевнено пояснює алгоритми виведення рішень та інтерпретацію медичних даних.

«Не зараховано» виставляється за умови неробочого коду або критичних логічних помилок у правилах, відсутності звіту з тестуванням чи нездатності студента самостійно обґрунтувати структуру створеної експертної системи.

Семестровий контроль: іспит
Умови допуску до семестрового контролю: виконання та подання (завантаження) звітів практикуму та успішне виконання МКР.

Іспит проводиться усно та передбачає отримання студентами до 40 балів. Перелік рекомендованих для підготовки до іспиту запитань у додатку 2.

Критерії оцінювання усної відповіді на іспиті
Іспит проводиться в усній формі. Максимальна кількість балів за іспит – ***40 балів****. Оцінювання здійснюється з урахуванням повноти та правильності відповіді, розуміння принципів побудови і функціонування медичних експертних систем, коректності використання термінології, здатності пояснювати алгоритми та моделі, аналізувати їх особливості й застосовувати набуті знання до задач біомедичної інженерії.*
- ***38–40 балів*** *– здобувач демонструє глибоке і системне знання навчального матеріалу; вільно оперує поняттями та термінологією медичних експертних систем; правильно пояснює принципи роботи, алгоритми та математичні моделі; встановлює взаємозв'язки між окремими темами курсу; здатний обґрунтовано порівнювати різні підходи до представлення знань і прийняття рішень, визначати їх переваги та обмеження; коректно застосовує теоретичні положення до задач біомедичної інженерії; формулює логічні й аргументовані висновки; впевнено відповідає на додаткові запитання.*
- ***34–37 балів*** *– здобувач демонструє дуже добрий рівень засвоєння матеріалу, правильно розкриває основні положення поставлених питань, добре орієнтується у методах та*

алгоритмах експертних систем; здатний до аналізу та порівняння підходів і може пояснити можливості їх застосування у біомедичній інженерії. Допускаються окремі неточності у формулюваннях, математичних залежностях або прикладах, які не впливають суттєво на правильність відповіді.

- ***30–33 бали** – здобувач демонструє достатньо повне розуміння основних питань курсу, правильно використовує основну термінологію та пояснює базові принципи роботи експертних систем. Водночас відповідь має переважно описовий характер; порівняння методів, обґрунтування вибору алгоритмів або аналіз їх переваг і обмежень виконуються неповно; можливі окремі змістовні неточності.*
- ***26–29 балів** – здобувач має загальне уявлення про відповідний навчальний матеріал і відтворює основні поняття та положення, однак допускає помітні неточності у визначеннях, алгоритмах, послідовності етапів або математичному описі методів. Здатність пов'язувати теоретичний матеріал із конкретними задачами біомедичної інженерії обмежена; відповіді на додаткові запитання потребують суттєвих уточнень.*
- ***24–25 балів** – здобувач демонструє мінімально достатній рівень знань; орієнтується лише в частині ключових понять курсу; відповідь неповна та фрагментарна, містить суттєві неточності, проте дозволяє встановити розуміння основних принципів відповідного методу або моделі. Висновки недостатньо обґрунтовані, застосування знань до практичних задач викликає труднощі.*
- ***0–23 бали** – здобувач не демонструє мінімально необхідного рівня знань; не орієнтується у ключових поняттях і методах медичних експертних систем, допускає принципові помилки у поясненні алгоритмів і моделей або не може надати змістовної відповіді на поставлені та додаткові запитання.*

Підсумковий бал з дисципліни розраховується як сума балів за МКР + Реферат + Іспит.

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)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено завідувачем кафедри ТМБ, к.т.н., доц. Бесарабом Олександром Борисовичем

Ухвалено кафедрою трансляційної медичної біоінженерії (протокол №3 від 29.09.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 3 від 24.10.2025р.)

Додаток 1. Перелік пропонованих тем рефератів

1. *Еволюція медичних експертних систем: від MYCIN до сучасних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.*
2. *Сучасні напрями розвитку клінічних систем підтримки прийняття рішень (Clinical Decision Support Systems, CDSS).*
3. *Гібридні інтелектуальні системи в медицині: поєднання експертних правил і машинного навчання.*
4. *Knowledge Graphs у медицині та біомедичній інженерії.*
5. *Медичні онтології як засіб формалізації та інтеграції знань.*
6. *Використання SNOMED CT у системах підтримки прийняття клінічних рішень.*
7. *Використання термінології LOINC в інтелектуальних системах аналізу лабораторних даних.*
8. *UMLS як інструмент інтеграції медичних термінологій та баз знань.*
9. *Автоматизоване вилучення знань з наукової медичної літератури.*
10. *Методи отримання та формалізації знань від медичних експертів.*
11. *Проблема «вузького місця набуття знань» (knowledge acquisition bottleneck) в експертних системах.*
12. *Автоматизоване формування правил прийняття рішень із медичних даних.*
13. *Підтримання актуальності баз знань медичних експертних систем.*
14. *Контроль суперечностей і надлишковості у великих базах експертних правил.*
15. *Версіонування та керування життєвим циклом медичних баз знань.*
16. *Пояснюваний штучний інтелект (XAI) у системах підтримки медичних рішень.*
17. *Порівняння локальної та глобальної пояснюваності моделей штучного інтелекту в медицині.*
18. *Методи SHAP і LIME для пояснення рішень медичних моделей машинного навчання.*
19. *Контрфактичні пояснення у медичних системах підтримки прийняття рішень.*
20. *Калібрування довіри користувача до рекомендацій медичних інтелектуальних систем.*
21. *Людина в контурі прийняття рішення (Human-in-the-Loop) у медичних експертних системах.*
22. *Розподіл відповідальності між лікарем і системою підтримки прийняття рішень.*
23. *Проблема automation bias при використанні медичних експертних систем.*
24. *Когнітивні помилки користувача та їх вплив на роботу із системами підтримки рішень.*
25. *Проєктування інтерфейсу медичної експертної системи з урахуванням людського фактора.*
26. *Методи верифікації баз знань медичних експертних систем.*
27. *Валідація медичних систем підтримки прийняття рішень.*
28. *Клінічна валідація алгоритмічних систем прийняття рішень.*
29. *Оцінювання надійності медичних експертних систем.*
30. *Оцінювання робастності інтелектуальних систем до помилок і шуму в біомедичних даних.*
31. *Вплив пропущених даних на рішення медичних інтелектуальних систем.*
32. *Оцінювання невизначеності прогнозів моделей штучного інтелекту в медицині.*
33. *Моніторинг деградації моделей після впровадження медичної системи в експлуатацію.*
34. *Проблема dataset shift у медичних системах штучного інтелекту.*
35. *Зовнішня валідація моделей підтримки медичних рішень на даних інших закладів охорони здоров'я.*

36. *Експертні системи для інтерпретації лабораторних показників.*
37. *Інтелектуальні системи підтримки рішень у лабораторній діагностиці.*
38. *Системи підтримки рішень для інтерпретації результатів імуноферментного аналізу.*
39. *Експертні системи для оцінювання ризику серцево-судинних захворювань.*
40. *Інтелектуальна підтримка прийняття рішень у персоналізованій медицині.*
41. *Системи підтримки прийняття рішень у прецизійній медицині.*
42. *Експертні системи у фармакотерапії та виборі лікарських засобів.*
43. *Інтелектуальні системи виявлення потенційних лікарських взаємодій.*
44. *Системи підтримки рішень у фармакогеноміці.*
45. *Експертні системи для персоналізованого дозування лікарських засобів.*
46. *Інтелектуальні системи підтримки рішень у регенеративній медицині.*
47. *Експертні системи для вибору біоматеріалів у тканинній інженерії.*
48. *Системи підтримки прийняття рішень при проєктуванні тканинно-інженерних каркасів.*
49. *Інтелектуальні методи вибору параметрів 3D-біодруку.*
50. *Системи підтримки прийняття рішень для оптимізації складу біочорнил.*
51. *Інтелектуальне керування параметрами біореакторів для культивування клітин.*
52. *Експертні системи для оцінювання якості клітинних культур.*
53. *Системи підтримки рішень при виробництві клітинних і тканинно-інженерних продуктів.*
54. *Інтелектуальна підтримка вибору технологічних параметрів у біофармацевтичному виробництві.*
55. *Експертні системи для контролю критичних параметрів біотехнологічного процесу.*
56. *Інтелектуальні системи підтримки рішень для аналізу медичних зображень.*
57. *Поєднання комп'ютерного зору та експертних правил у медичній діагностиці.*
58. *Системи підтримки рішень для аналізу гістологічних зображень.*
59. *Інтелектуальна підтримка інтерпретації електрокардіографічних сигналів.*
60. *Експертні системи для аналізу електроенцефалографічних сигналів.*
61. *Системи підтримки прийняття рішень на основі даних носимих медичних пристроїв.*
62. *Інтелектуальні системи моніторингу фізіологічного стану пацієнта в реальному часі.*
63. *Експертні системи для раннього виявлення критичних станів пацієнтів.*
64. *Інтелектуальні системи підтримки рішень у відділеннях інтенсивної терапії.*
65. *Системи підтримки прийняття рішень у телемедицині.*
66. *Використання цифрових двійників людини у системах підтримки медичних рішень.*
67. *Цифрові двійники біологічних і біотехнічних систем як складова інтелектуального керування.*
68. *Інтеграція фізіологічних моделей та штучного інтелекту в медичних системах підтримки рішень.*
69. *Physics-Informed Machine Learning у біомедичних системах підтримки рішень.*
70. *Мультимодальні інтелектуальні системи для інтеграції клінічних, лабораторних та інструментальних даних.*
71. *Великі мовні моделі як компонент медичних систем підтримки прийняття рішень.*

72. *Retrieval-Augmented Generation (RAG) для побудови медичних систем, що працюють із базами знань.*

73. *Поєднання великих мовних моделей і традиційних експертних систем.*

74. *Автоматизоване формування експертних правил за допомогою великих мовних моделей.*

75. *Проблема галюцинацій генеративного штучного інтелекту в медичних системах.*

76. *Методи перевірки достовірності відповідей генеративних моделей у медицині.*

77. *Агентні системи штучного інтелекту в охороні здоров'я та біомедичній інженерії.*

78. *Мультиагентні системи для підтримки комплексних медичних рішень.*

79. *Інтелектуальні системи з використанням мультимодальних великих моделей у медицині.*

80. *Перспективи переходу від класичних експертних систем до нейросимвольного штучного інтелекту.*

81. *Нейросимвольний штучний інтелект у медичних системах підтримки прийняття рішень.*

82. *Case-Based Reasoning у медичних експертних системах.*

83. *Аргументаційні моделі штучного інтелекту для обґрунтування медичних рішень.*

84. *Теорія доказів Демпстера–Шафера у медичних системах підтримки рішень.*

85. *Мережі довіри та причинно-наслідкові моделі в медичному штучному інтелекті*

86. *Причинний штучний інтелект (Causal AI) у медичних системах підтримки прийняття рішень.*

87. *Моделі прийняття рішень на основі аналізу користі та ризику в медицині.*

88. *Багатокритеріальне прийняття рішень у біомедичній інженерії.*

89. *Методи AHP, TOPSIS та ELECTRE для підтримки біомедичних інженерних рішень.*

90. *Колективне експертне оцінювання та метод Делфі у розробленні медичних систем підтримки рішень.*

91. *Інтероперабельність медичних систем підтримки прийняття рішень і стандарт HL7 FHIR.*

92. *Інтеграція експертних систем з електронними медичними записами.*

93. *Архітектура хмарних систем підтримки прийняття медичних рішень.*

94. *Edge AI у системах медичного моніторингу та підтримки рішень.*

95. *Захист персональних медичних даних в інтелектуальних системах.*

96. *Федеративне навчання як засіб створення медичних інтелектуальних систем без централізації даних.*

97. *Кібербезпека медичних систем підтримки прийняття рішень.*

98. *Етичні проблеми застосування експертних систем і штучного інтелекту в медицині.*

99. *Алгоритмічна упередженість у медичних системах штучного інтелекту та методи її виявлення.*

100. *Регуляторні вимоги до програмного забезпечення з функціями штучного інтелекту медичного призначення.*

Додаток 2. Перелік запитань для підготовки до іспиту

1. *Що таке експертна система та які задачі вона призначена розв'язувати?*
2. *Що таке система підтримки прийняття рішень?*
3. *У чому полягає відмінність між експертною системою та системою підтримки прийняття рішень?*
4. *Які основні етапи розвитку експертних систем?*
5. *Якою є типова архітектура експертної системи?*
6. *Яке призначення бази знань в експертній системі?*
7. *Які функції виконує механізм логічного виведення?*
8. *Яке призначення інтерфейсу користувача експертної системи?*
9. *Які функції виконує підсистема пояснень?*
10. *За якими ознаками можуть класифікуватися експертні системи?*
11. *Які приклади застосування експертних систем у медицині та біомедичній інженерії можна навести?*
12. *Що означає представлення задачі у просторі станів?*
13. *Що таке початковий і цільовий стани задачі?*
14. *Як формується граф станів?*
15. *У чому полягає декомпозиція задачі на підзадачі?*
16. *Що таке граф розв'язання задачі?*
17. *У чому полягає алгоритм пошуку в ширину?*
18. *У чому полягає алгоритм пошуку в глибину?*
19. *Чим відрізняються пошук у ширину та пошук у глибину?*
20. *Які переваги та обмеження неінформованих методів пошуку?*
21. *Що таке евристичний пошук?*
22. *Що таке евристична функція та як вона впливає на процес пошуку?*
23. *У чому полягає проблема комбінаторного вибуху?*
24. *Яким чином пошукові алгоритми можуть застосовуватися до задач біомедичної інженерії?*
25. *У чому полягає принцип жадібного алгоритму пошуку?*
26. *Які основні принципи генетичних алгоритмів?*
27. *Які основні принципи мурашиних алгоритмів?*
28. *Для яких задач біомедичної інженерії можуть використовуватися інтелектуальні оптимізаційні алгоритми пошуку?*
29. *У чому полягає відмінність між даними та знаннями?*
30. *Що таке експертні знання?*
31. *Для чого виконується формалізація та структурування експертних знань?*
32. *Що таке база знань?*
33. *Які логічні моделі представлення знань використовуються в експертних системах?*
34. *Що таке продукційне правило?*

35. *Якою є структура правила типу «ЯКЩО–ТО»?*
36. *У чому полягає пряме логічне виведення?*
37. *У чому полягає зворотне логічне виведення?*
38. *Чим відрізняються пряме та зворотне логічне виведення?*
39. *Що таке семантична мережа?*
40. *Яким чином семантичні мережі можуть використовуватися для представлення знань?*
41. *Яке значення має пояснюваність результатів експертної системи?*
42. *Які види невизначеності можуть виникати під час прийняття рішень в експертних системах?*
43. *Що означають неповнота та неоднозначність знань?*
44. *Що таке умовна ймовірність?*
45. *У чому полягає байєсівський підхід до прийняття рішень?*
46. *Як використовується рекурентна формула Байєса в експертних системах?*
47. *Що таке апріорна ймовірність?*
48. *Що таке умовна ймовірність у контексті експертної системи?*
49. *Як нові дані впливають на оцінювання ймовірності гіпотези?*
50. *Що таке коефіцієнти певності?*
51. *Як здійснюється формування та оновлення оцінок імовірності?*
52. *У чому полягає адаптивне оцінювання ймовірностей?*
53. *Як можуть уточнюватися апріорні та умовні ймовірності при накопиченні нових даних?*
54. *Як ймовірнісне виведення може застосовуватися в медичних експертних системах?*
55. *Що таке нечітка множина?*
56. *Чим нечітка множина відрізняється від класичної множини?*
57. *Що таке функція належності?*
58. *Які типи функцій належності можуть застосовуватися в нечітких системах?*
59. *Що таке ступінь належності елемента нечіткій множині?*
60. *Що таке лінгвістична змінна?*
61. *Що таке терм лінгвістичної змінної?*
62. *Які основні операції виконуються над нечіткими множинами?*
63. *Що таке нечітке правило?*
64. *Як формуються правила типу «ЯКЩО–ТО» у нечіткій базі знань?*
65. *Яким чином експертні знання формалізуються за допомогою нечіткої логіки?*
66. *Чому нечітка логіка є доцільною для опису біомедичних і біоінженерних параметрів?*
67. *З яких основних етапів складається нечітке логічне виведення?*
68. *У чому полягає фаззифікація?*
69. *У чому полягає агрегування умов нечітких правил?*
70. *Що таке активація нечіткого правила?*
71. *У чому полягає акумуляція результатів нечітких правил?*
72. *Що таке дефаззифікація?*

73. *У чому полягає алгоритм нечіткого виведення Мамдані?*

74. *Які основні етапи побудови системи Мамдані?*

75. *У чому полягає алгоритм нечіткого виведення Сугено?*

76. *Чим відрізняються моделі Сугено з константними та лінійними функціями виходу?*

77. *Які основні відмінності між моделями Мамдані та Сугено?*

78. *Як відрізняються моделі Мамдані та Сугено за інтерпретованістю результатів?*

79. *Які особливості застосування моделей Мамдані та Сугено до задач біомедичної інженерії?*

80. *У чому полягає алгоритм нечіткого виведення Цукамото?*

81. *У чому полягає алгоритм нечіткого виведення Ларсена?*

82. *За якими характеристиками можна порівнювати різні алгоритми нечіткого виведення?*

83. *Які основні методи дефаззифікації використовуються в нечітких системах?*

84. *У чому полягає метод центру ваги?*

85. *У чому полягає метод центру площі?*

86. *Що таке методи дефаззифікації на основі модальних значень?*

87. *Як вибір методу дефаззифікації може впливати на результат роботи експертної системи?*

88. *Що таке штучна нейронна мережа?*

89. *Що являє собою математична модель штучного нейрона?*

90. *Які основні принципи навчання нейронної мережі?*

91. *У чому полягає ідея поєднання нейронних мереж і нечітких систем?*

92. *Що таке нейро-нечітка модель?*

93. *Яким чином нейро-нечіткі моделі можуть використовуватися для автоматизованого формування правил?*

94. *Яким чином нейро-нечіткі моделі можуть використовуватися для налаштування параметрів нечіткої системи?*

95. *Що таке нечітка кластеризація?*

96. *Чим нечітка кластеризація відрізняється від традиційного поділу об’єктів на чіткі кластери?*

97. *Як нечітка кластеризація може використовуватися для аналізу біомедичних даних?*

98. *Як за результатами кластеризації можна визначати структуру лінгвістичних змінних?*

99. *Як результати нечіткої кластеризації можуть використовуватися для формування термів лінгвістичної змінної?*

100. *Що розуміють під автоматизованим синтезом нечіткої моделі?*

101. *Які параметри функцій належності можуть налаштовуватися автоматично?*

102. *Яким чином можуть налаштовуватися правила нечіткої системи?*

103. *Що таке цільова функція при налаштуванні нечіткої моделі?*

104. *Як оцінюється похибка нечіткої моделі?*

105. *У чому полягає оптимізація параметрів нечіткої системи?*

106. *Які основні етапи розроблення медичної експертної системи?*

107. *Як формулюється задача для розроблення експертної системи?*

108. *Як визначаються вхідні та вихідні параметри експертної системи?*

109. *Як формується база знань експертної системи?*

110. *За якими принципами обирається механізм логічного виведення?*

111. *Як здійснюється тестування розробленої експертної системи?*

112. *Як оцінюються результати роботи експертної системи?*

113. *Як здійснюється інтерпретація результатів роботи експертної системи?*

114. *Як досліджується вплив параметрів нечіткої моделі на результат прийняття рішення?*

115. *Яким чином розроблена експертна система може використовуватися для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності?*