



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ



МОДЕЛЮВАННЯ БІОМЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИГНАЛІВ

ID 2819

Шифр, назва спеціальності та освітній рівень	163 Біомедична інженерія (бакалавр)	Назва освітньої програми	Біоінформатика та реабілітаційна інженерія (2024)
Тип програми	Освітньо-професійна	Мова викладання	Українська
Факультет	Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії (ФПТ)	Кафедра	Каф. біотехнічних систем (БТ)

Викладач/викладачі

Яворська Євгенія Богданівна, канд. техн. наук, доцент, Завідувач кафедри біотехнічних систем, [профіль на порталі "Науковці ТНТУ"](#)

Загальна інформація про дисципліну

Мета курсу	Підготувати здобувачів в області дослідження складних систем і процесів на основі методів математичного моделювання.
Формат курсу	Змішаний – курс, що передбачає лекції, практичні заняття та консультування для ефективного засвоєння матеріалу курсу та отримання практичних навичок з застосування отриманих знань. Для ефективної взаємодії зі здобувачами та організації самостійної роботи здобувачів розроблений електронний навчальний курс (ЕНК ID: 2819) у середовищі електронного навчання університету A-Tutor. У ЕНК є інформація про курс, про систему оцінювання, є необхідний теоретичний матеріал та вбудована система тестування як для самонавчання так і для контролю усіх видів знань.
Компетентності ОП	Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у здобувачів компетентностей (згідно освітньо-професійної програми, яка розроблена на основі діючого стандарту вищої освіти за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (наказ МОН України №1264 від 19.11.18 р.): Інтегральна компетентність . Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у біомедичній інженерії або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів хімічної, біологічної та медичної інженерії, і характеризується комплексністю та невизначеністю умов. – загальних: ЗК1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК5. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. ЗК7. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ЗК8. Здатність приймати обґрунтовані рішення. – спеціальних: СК1. Здатність застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів, а також для автоматизованого проектування медичних приладів та систем. СК5. Здатність застосовувати фізичні, хімічні, біологічні та математичні методи в аналізі, моделюванні функціонування живих організмів та біотехнічних систем.
	За результатами вивчення дисципліни здобувач повинен продемонструвати такі результати навчання (згідно освітньо-професійної програми, яка розроблена на основі діючого стандарту вищої освіти за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (наказ МОН України №1264 від 19.11.18 р.):

Програмні результати навчання з ОП	ПРН1. Застосовувати знання основ математики, фізики та біофізики, біоінженерії, хімії, інженерної графіки, механіки, опору та міцності матеріалів, властивості газів і рідин, електроніки, інформатики, отримання та аналізу сигналів і зображень, автоматичного управління, системного аналізу та методів прийняття рішень на рівні, необхідному для вирішення задач біомедичної інженерії. ПРН5 Вміти використовувати бази даних, математичне і програмне забезпечення для обробки даних та комп'ютерного моделювання біотехнічних систем.
Обсяг курсу	Очна (денна) форма здобуття освіти: Кількість кредитів ECTS — 5; лекції — 32 год.; лабораторні заняття — 32 год.; самостійна робота — 86 год.; Заочна форма здобуття освіти: Кількість кредитів ECTS — 5; лекції — 10 год.; лабораторні заняття — 10 год.; самостійна робота — 130 год.;
Ознаки курсу	Рік навчання — 3; семестр — 5; Обов'язкова (для здобувачів інших ОП може бути вибірковою) дисципліна; кількість модулів — 2;
Форма контролю	Поточний контроль: тестування, захист лабораторних робіт, виконання курсової роботи Підсумковий контроль: екзамен
Компетентності та дисципліни, що є передумовою для вивчення	Ефективність засвоєння змісту дисципліни «Моделювання біомедичних процесів та сигналів» значно підвищиться, якщо здобувач попередньо опанував матеріали дисциплін циклу професійної підготовки ОР «Бакалавр» спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

Матеріально-технічне
та/або інформаційне
забезпечення

Лекційні заняття: мультимедійний проектор Optima DAXSBG, екран для мультимедійних презентацій, персональний комп'ютер для мультимедійних презентацій на базі конфігурації Intel Celeron 430 / CPU 1.8 GHz/2Gb RAM (1 шт.) з доступом до мережі Інтернет.

Лабораторні заняття:

- 1) комп'ютерна техніка: персональні комп'ютери на базі конфігурації AMD Ryzen 7 1700/3 GHz/8Gb RAM (4 шт) та персональні комп'ютери на базі конфігурації Intel Core i3-4170/3.7 GHz/4 Gb RAM (3 шт.). Усі персональні комп'ютери з доступом до мережі Інтернет;
- 2) програмне забезпечення: пакет програм Microsoft Office 365 (ліцензія ТНТУ, студентська ліцензія), Matlab (студентська версія).

СТРУКТУРА КУРСУ

Теми занять, короткий
зміст

Лекційний курс	Годин	
	ОФЗО	ЗФЗО
Вступне заняття.	2	-
Тема 1. Вступ до біомедичного моделювання.		
1.1. Визначення та роль математичного моделювання у біомедичних науках.	6	2
1.2. Основи біофізики та біоелектрики для побудови моделей.		
1.3. Основні типи математичних моделей: детерміновані, стохастичні, емпіричні.		
Тема 2. Моделювання електричних процесів у біологічних системах.		
2.1. Модель мембранного потенціалу: рівняння Годжкіна-Хакслі.	6	2
2.2. Спрощені моделі нервових імпульсів (ФітцГ'ю-Нагумо, Іжикевича).		
2.3. Поширення електричних сигналів у нервових волокнах (рівняння телеграфіста).		
Тема 3. Моделювання електричної активності серця		
3.1. Біофізична основа генерації електричних сигналів серця	6	2
3.2. Модель дипольного генератора серця		
3.3. Реалістичні чисельні моделі серцевого циклу (моделі Бідермана, Панфілова)		
Тема 4. Моделювання фізіологічних процесів.		
4.1. Динамічні моделі дихальної системи (система легень як механічний контур).	6	2
4.2. Моделювання кровообігу (рівняння Віндасселя, модель Гюйгенса).		
4.3. Моделі обміну речовин та теплового балансу в організмі.		
Тема 5. Обчислювальні методи в біомедичному моделюванні.		
5.1. Чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь у MATLAB/Python.	6	2
5.2. Моделювання складних біологічних систем із використанням методу скінченних елементів.		
5.3. Створення моделей біологічних тканин та органів за допомогою комп'ютерних симуляцій.		
РАЗОМ:	32	10
Лабораторний практикум (теми)	Годин	
	ОФЗО	ЗФЗО

Інструктаж з техніки безпеки.	2	-
Основні етапи розробки імітаційної моделі	6	2
Імітаційне моделювання біомедичних процесів	8	2
Імітаційне моделювання біосигналів	8	2
Застосування машинного навчання для класифікації біомедичних сигналів	6	2
Підсумкове обговорення.	2	2
РАЗОМ:	32	10

Курсова робота/проект

Мета виконання курсової роботи	Метою курсової роботи (КР) є закріплення знань, отриманих на лекційних та лабораторних заняттях, набуття навиків практичного їх використання, а також досвіду складання пояснювальних записок, обґрунтування своїх рішень, що приймаються на підставі отримуваної у висліді опрацювання даних інформації.
Завдання курсової роботи	Завдання КР – поглибити, закріпити знання, отримані при вивченні даної дисципліни, розвинути здатність до творчої і самостійної роботи, навчити використовувати знання при розв’язуванні конкретних задач.
Структура курсової роботи	Титульний аркуш Реферат Список скорочень Зміст Вступ 1. Опис біомедичного сигналу. 2. Аналіз відомих моделей біомедичного сигналу. 3. Побудова математичної моделі біомедичного сигналу. 4. Побудова імітаційної моделі біомедичного сигналу. 5. Аналіз отриманих результатів Висновки Список літератури Додатки
Обсяг курсової роботи	Рекомендований обсяг - 35-45 сторінок.
Етапи виконання	Етапи виконання: – Вибір теми курсової роботи, обґрунтування актуальності; – Складання та затвердження завдання на виконання курсової роботи. – Виконання основних етапів курсової роботи та її оформлення у вигляді пояснювальної записки (1. Аналіз завдання. 2. Опис біомедичного сигналу/процесу. 3. Аналіз відомих моделей біомедичного сигналу/процесу. 4. Побудова математичної моделі біомедичного сигналу/процесу. 5. Побудова імітаційної моделі біомедичного сигналу/процесу). - Оформлення пояснювальної записки. – Попередній захист курсової роботи. Перегляд (попередній захист) курсової роботи здійснюється керівником щонайменше за день до захисту. Виявлені при огляді роботи неточності і помилки здобувач зобов’язаний виправити до захисту курсової роботи і представити

	керівникові. – Захист курсової роботи.
Оцінювання курсової роботи	Оцінка за курсову роботу записується за 100-бальною шкалою із подальшим переведенням її у шкалу Європейської кредитно-трансферної системи (ECTS) відповідно A, B, C, D, E, F, FX при цьому чотирибальна шкала оцінок (з записом семестрової оцінки «відмінно» - A, «добре» - B, C, «задовільно» - D, E відповідають підсумковому результату «зараховано», «незадовільно» - F, FX відповідає підсумковому результату «незараховано»). Оцінка за курсову роботу складається з балів за виконання (максимально 75 балів) та балів за захист (максимально 25 балів): Розподіл балів, які отримають здобувачі при виконанні КР: Оцінку «відмінно» («A» – 90-100) отримує здобувач, у якого акуратно і правильно оформлена курсова робота, вона містить практичний результат і глибокий аналіз питань обраної теми, висновки про позитивні моменти і недоліки, пропозиції щодо усунення недоліків. Оцінку «добре» («B» – 82-89, «C» – 75-81) одержує здобувач за роботу, у якій виконані всі зазначені вимоги, але є деякі недоліки методичного характеру, недостатньо аргументовані висновки й пропозиції. Робота має бути виконана правильно й акуратно. Оцінку «задовільно» («D» – 67-74, «E» – 60-66) отримує здобувач, у якого робота містить недостатньо елементів наукового дослідження, неглибокий аналіз, висновки і пропозиції погано аргументовані, текст оформлений неакуратно. «Незадовільно» («FX» – 35-59, «F» – 1-34) оцінюються курсові роботи, які за змістом і оформленням не відповідають діючим вимогам.
Форма контролю	Захист курсової роботи передбачає: - стислу доповідь (5 хв.) здобувача, в якій необхідно відокремити мету, об'єкт, предмет дослідження та коротко висвітлити зміст одержаних результатів дослідження. Зробити акцент на висновках та рекомендаціях. Бажано, щоб доповідь здобувача під час захисту супроводжувалась презентацією результатів, підготовленою за допомогою засобів «Microsoft PowerPoint»; - співбесіду і відповіді на запитання керівника та членів комісії; - заключне слово здобувача. - рішення комісії про оцінку роботи здобувача. Під час захисту курсової роботи здобувач зобов'язаний дати вичерпні відповіді на всі запитання, а також у виступах на захисті.
	Технічне забезпечення: мультимедійний проектор Optima DAXSBG, екран для мультимедійних презентацій, персональний комп'ютер для мультимедійних презентацій на базі конфігурації Intel Celeron 430 / CPU 1.8 GHz/2Gb RAM (1 шт.), персональні комп'ютери на базі конфігурації AMD Ryzen 7 1700/3 GHz/8Gb RAM (4 шт) та персональні

Технічне й програмне
забезпечення

комп'ютери на базі конфігурації Intel Core i3-4170/3.7 GHz/4 Gb RAM (3 шт.). Усі персональні комп'ютери з доступом до мережі Інтернет.

Програмне забезпечення: пакет програм Microsoft Office 365 (ліцензія ТНТУ, студентська ліцензія), Matlab (студентська версія).

ІНШІ ВИДИ РОБІТ

Теми, короткий зміст

Підготовка до лабораторних робіт

Опрацювання окремих розділів, які не виносяться на лекції:

1. Загальні питання

1.1. Біомедичне моделювання та його основні завдання.

1.2. Класи моделей у біомедичному моделюванні.

1.3. Математичні методи для побудови біомедичних моделей.

1.4. Вплив дискретизації на точність моделювання біосигналів.

2. Моделювання біосигналів

2.1. Основні типи біомедичних сигналів та їх характеристики.

2.2. Моделювання електрокардіограми (ЕКГ) за допомогою математичних методів.

2.3. Методи, які використовуються для генерації синтетичних електроенцефалограм (ЕЕГ).

2.4. Вплив шуму та артефактів на біомедичні сигнали. Методи їх фільтрації.

3. Динамічні системи та математичне моделювання

3.1. Динамічні системи та їх використання для моделювання біологічних процесів.

3.2. Основні типи диференціальних рівнянь, які застосовуються у біомедичних моделях.

3.3. Моделювання процесів дифузії в біологічних тканинах.

4. Імітаційне моделювання та обробка сигналів

4.1. Методи моделювання біомедичних сигналів у MATLAB та Python.

4.2. Алгоритми для згладжування біомедичних сигналів.

4.3. Оцінювання якості синтетичних біосигналів.

4.4. Загальна схема процесу моделювання. Формалізація і алгоритмізація інформаційних процесів.

5. Застосування машинного навчання

5.1. Машинне навчання та його використання для аналізу біомедичних сигналів.

5.2. Алгоритми класифікації, які найчастіше застосовуються для ЕКГ та ЕЕГ.

5.3. Застосування нейронних мереж для розпізнавання патологій за біомедичними сигналами.

Виконання курсових проектів (робіт)

Підготовка та складання екзаменів, тестування:

Інформаційні джерела для вивчення курсу

Базова

1. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія / Л.Є. Дедів, А.С. Сверстюк, І.Ю. Дедів, М.О. Хвостівський, В.Г. Дозорський, Є.Б. Яворська. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с.
2. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія / І.Ю. Дедів, А.С. Сверстюк, Л.Є. Дедів, В.Г. Дозорський, М.О. Хвостівський. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с.
3. Хвостівська Л. В. Математична модель та методи аналізу пульсового сигналу для підвищення інформативності фотоплетизмографічних систем: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 / Лілія Володимирівна Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2021. 177 с.
4. Паляниця Ю.Б., Сверстюк А.С., Шадріна Г.М. Математичне та комп'ютерне моделювання фонокардіосигналів для удосконалення кардіодіагностичних систем / Ю.Б. Паляниця, А.С. Сверстюк, Г.М. Шадріна. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2020. 106 с.
5. Марценюк В. П., Сверстюк А. С. Математичні моделі та методи компартментного моделювання кіберфізичних систем медико-біологічних процесів / В. П. Марценюк, А. С. Сверстюк. – Львів : Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. – 400 с.
6. Абакумов В.Г. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг. Київ, 2001. 516 с.
7. Абакумов В.Г. Біомедичні сигнали та їх обробка. Київ, 1997. 352 с.
8. Орленко Н.С. Імітаційне моделювання: навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. Київ, 1999. 208 с.

Допоміжна

1. Khvostivskyi Mykola, Yavorska Evhenia, Kinash Roman, Boyko Roman. Mathematical, Algorithmic and Software Support for Phonocardiographic Signal Processing to Detect Mitral Insufficiency of Human Heart Valves. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP-2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22-24, 2023. pp. 350-357. ISSN 1613-0073.
2. Yavorskyu B., Yavorska E., Tsupryk H., Kinash R. (2023). Methods of constructing algorithms for comparative test statistical verification of mathematical models of bioobject responses to low-intensity stimuli. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 112, no 4, pp. 82–90.
3. Yavorska, E., Strembitska, O., Strembitskyi, M., & Pankiv, I. (2021). Development of a simulation model of a photoplethysmographic signal under psychoemotional stress. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(9 (110), 36–45. (Scopus, Web of Science).
4. Яворська, Є.Б., Кінаш, Р.В., Цуприк, Г.Б., Николайчук В.І. Проблеми виявлення біосигналів у медичних інформаційних системах / Є.Б. Яворська, Кінаш Р.В., Г.Б. Цуприк, В.І. Николайчук // IV Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ICM–2021) [Текст] : зб. наук. пр. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 25-26 с.
5. Лежнюк П.Д. Основи теорії планування експерименту: лабораторний практикум. — Вінниця, 2006. 167 с.
6. Математичні методи моделювання : підручник / А. В. Усов, О. С. Савельєва, І. І. Становська, А. О. Перпері. – Одеса, 2020. – 508 с.
7. Ingalls, B. P. (2013). Mathematical modeling in systems biology: an introduction. MIT press. 3. Bernhard Ø. Palsson. Systems Biology: Simulation of Dynamic Network States. Cambridge University Press, 2011. doi:10.1017/CBO9780511736179.
8. MASSpy: Modeling Dynamic Biological Processes in Python URL: <https://masspy.readthedocs.io/en/latest/index.html>
9. Sörnmo L., Laguna P. Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications. – Burlington: Academic Press, 2005. – 669 p.

10. Enderle J. D., Blanchard S. M., Bronzino J. D. Introduction to Biomedical Engineering. – 3rd ed. – Boston: Academic Press, 2011. – 1250 p.
11. Bronzino J. D. The Biomedical Engineering Handbook. – 4th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 5436 p.
12. Webster J. G. Medical Instrumentation: Application and Design. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. – 704 p.
13. McSharry P., Clifford G. D. A Synthetic Model of the Electrocardiogram // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2003. – Vol. 50, No. 3. – P. 289-294.
14. Clifford G. D., Azuaje F., McSharry P. Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. – Norwood: Artech House, 2006. – 400 p.

Інформаційні ресурси

1. MIT OpenCourseWare – Biomedical Signal and Image Processing
2. Coursera – Introduction to Biomedical Engineering (University of Toronto)
3. PhysioNet (<https://www.physionet.org/>) – відкриті бази даних реальних біомедичних сигналів для тестування алгоритмів.

Політики курсу

Політика контролю	Використовуються такі засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання: поточне опитування; тестування; виконання індивідуальних завдань та презентацій; оцінювання результатів виконаних самостійних робіт; бесіди та обговорення проблемних питань; дискусії; індивідуальні консультації; екзамен. Можливий ректорський контроль.
Політика щодо консультування	Консультації при вивченні дисципліни проводяться згідно затвердженого на кафедрі БТ. Консультування передбачено як очно, так і з використанням ресурсів електронного навчального курсу у середовищі електронного навчання університету.
Політика щодо перескладання	Здобувач має право на повторне складання модульного контролю з метою підвищення рейтингу протягом тижня після складання модульного контролю за графіком. Перескладання екзамену відбувається в терміни, визначені графіком освітнього процесу. Здобувач ВО має право на зарахування результатів навчання здобутих у неформальній чи інформальній освіті.
Політика щодо академічної доброчесності	При складанні усіх видів контролю у середовищі електронного навчання завжди активується система розпізнавання особи, що складає контроль. Усі лабораторні роботи у ЕНК перевіряються вбудованою системою Антиплагіат. При складанні усіх форм контролю забороняється списування, у тому числі з використанням сучасних інформаційних технологій.
Політика щодо відвідування	Відвідування занять є обов'язковим компонентом освітнього процесу. За наявності поважних причин (наприклад, хвороба, особливі потреби, відрядження, сімейні обставини, участь у програмах академічної мобільності тощо)

навчання може здійснюватися за індивідуальним графіком, погодженим з деканом факультету.

СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

Розподіл балів, які отримують студенти за курс

Модуль 1			Модуль 2			Підсумковий контроль		Разом з дисципліни
Аудиторна та самостійна робота			Аудиторна та самостійна робота			Теоретичний курс	Практичне завдання	100
Теоретичний курс (тестування)	Лабораторна робота		Теоретичний курс (тестування)	Лабораторна робота				
15	20		20	20		15	10	
№ лекції	Види робіт	К-ть балів	№ лекції	Види робіт	К-ть балів			
Тема 1-8	Лабораторна робота №1	10	Тема 9-16	Лабораторна робота №3	10			
	Лабораторна робота №2	10		Лабораторна робота №4	10			

Розподіл балів, які отримують студенти за виконання та захист КР

Модуль 1		Модуль 2		Підсумковий контроль	Разом за КР
Теоретична частина		Експеримент		Захист КР	100
35		40		25	
Види робіт	К-ть балів	Види робіт	К-ть балів		
1. Аналіз завдання.	10	4. Побудова математичної моделі біомедичного сигналу/процесу.	20		
2. Опис біомедичного сигналу/процесу.	10	5. Побудова імітаційної моделі біомедичного сигналу/процесу	20		
3. Аналіз відомих моделей біомедичного сигналу/процесу.	15				

Розподіл оцінок

Сума балів за навчальну діяльність	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
82-89	B	Добре
75-81	C	Добре
67-74	D	Задовільно
60-66	E	Задовільно
35-59	FX	Незадовільно з можливістю повторного складання
1-34	F	Незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

Затверджено рішенням кафедри БТ, протокол №1 від «27» серпня 2024 року.