Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра біомедичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення

_____ Василевський О. М.

17 09 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.20 Математичне моделювання в біології та медицині
(шифр і назва навчальної дисципліни)

підготовки бакалавра
(назва рівня вищої освіти)
галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія
(шифр і найменування галузі знань)
спеціальність 163 – Біомедична інженерія
(код і найменування спеціальності)
освітня програма Біомедична інженерія

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Розроблено в рамках проекту "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів"

Developed in the frame of project "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees" (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP).

Вінниця – 2020 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Спецкурс. Математичне моделювання в біології та медицині» для здобувачів освітнього ступеня бакалавра
галузі знань 16 – Хімічна та біоінженерія
спеціальності 163 – Біомедична інженерія
освітня програма Біомедична інженерія, 2020. – 13 с.

Розробник:
Штофель Дмитро Хуанович, доцент кафедри БМІ, канд. техн. наук, доцент

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри біомедичної інженерії

Протокол від «9» 06 2020 року № 19

Завідувач кафедри _____ доц. Коваль Л. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною комісією ФІРЕН

Протокол від «10» 06 2020 року № 10

Голова Методичної комісії ФІРЕН _____ проф. Кичак В. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною радою ВНТУ

Протокол від «17» 09 2020 року № 1

Голова _____ проф. Васілевський О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

© Д. Х. Штофель, 2020 рік.
© ВНТУ, 2020 рік

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 3</td><td>Галузь знань
16 – Хімічна та біоінженерія
(шифр і найменування)</td><td colspan="2">Обов’язкова
Професійна</td></tr>
<tr><td>Модулів – 2</td><td rowspan="5">спеціальність 163 – Біомедична інженерія
освітня програма Біомедична інженерія</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td>2б</td><td>3 б</td></tr>
<tr><td>Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові роботи, дипломні проекти (роботи) та ін. визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри) –</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 90</td><td>3-й</td><td>6-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної та індивідуальної роботи студента – 2</td><td rowspan="11">Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</td><td>36 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>18 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Курсова робота</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>36 год.</td><td>70 год.</td></tr>
<tr><td>Вид контролю: диф. залік</td><td>Вид контролю: диф. залік</td></tr>
</table>

Примітка.
Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 60 % / 40 %,
для денної форми навчання – 22,2 % / 77,8 %

Мова навчання – українська, англійська.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна « Математичне моделювання в біології та медицині» базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні дисциплін «Вища математика», «Інформатика», «Анатомія та фізіологія людини». Ця дисципліна є передумовою і передує вивченню дисциплін «Біофізика» та «Біомедична механіка».

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни. Вивчення студентами принципів, засобів та способів створення, аналізу, дослідження та застосування математичних моделей для вирішення прикладних задач біології та медицини.

Програмні результати навчання

В результаті опанування дисципліни здобувачі освіти набувають знань та умінь, які формують такі результати навчання (згідно з вимогами освітньо-професійної програми):

ПРН 1. 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.

ПРН 2. Формулювати логічні висновки та обґрунтовані рекомендації щодо оцінки, експлуатації та впровадженні біотехнічних, медико-технічних та біоінженерних засобів і методів.

ПРН 5. Вміти використовувати бази даних, математичне і програмне забезпечення для обробки даних та комп’ютерного моделювання біотехнічних систем.

ПРН 6. Вміти спілкуватися з професіоналами в області охорони здоров’я державною та іноземною (англійською або однією з інших офіційних мов ЄС) мовами та розуміти їхні вимоги до біомедичних продуктів і послуг.

ПРН 10. Вміти планувати, організовувати, направляти і контролювати медико- технічні та біоінженерні системи і процеси.

ПРН 19. Розробляти програмне забезпечення комп’ютерної та мікроконтролерної техніки для обслуговування медичної апаратури та медичних інформаційних систем.

Компетентності, формування яких забезпечує вивчення дисципліни.

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК8. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК12. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина України.

ЗК13. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК14. Здатність дотримуватись принципів академічної доброчесності під час навчання та в подальшій професійній діяльності.

СК1. Здатність застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів, а також для автоматизованого проектування медичних приладів та систем.

СК3. Здатність вивчати та застосовувати нові методи та інструменти аналізу, моделювання, проектування та оптимізації медичних приладів і систем.

СК5. Здатність застосовувати фізичні, хімічні, біологічні та математичні методи в аналізі, моделюванні функціонування живих організмів та біотехнічних систем.

СК6. Здатність ефективно використовувати інструменти та методи для аналізу, проектування, розрахунку та випробувань при розробці біомедичних продуктів і послуг.

Поточний контроль знань здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту лабораторних, практичних робіт, інших видів самостійної роботи; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, іспит.

На самостійну роботу виноситься вивчення окремих питань курсу та опрацювання проблемних завдань, написання есеїв, розробка презентацій та виголошення доповідей, підготовка до лабораторних робіт і практичних занять, колоквіумів, тестування, іспиту, виконання окремих індивідуальних науково-дослідних робіт.

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Принципи моделювання біологічних систем.

Тема 1. Основні поняття моделювання.

Поняття системи. Біологічні, медичні, ергатичні, біотехнічні системи. Поняття моделі. Принципи моделювання. Види моделей. Етапи моделювання. Фізичне моделювання. Імітаційне моделювання. Біологічне моделювання. Математичне моделювання. Класифікація математичних моделей. Засоби математичного моделювання. Ієрархія моделей. Моделювання статичних режимів. Моделювання динамічних систем. Моделювання стохастичних систем. Зворотний зв'язок. Диференційні рівняння як засіб моделювання. Способи рішень диференційних рівнянь. Дослідження математичних моделей. Математична біологія.

Тема 2. Аналіз моделей біологічних систем.

Стаціонарні стани моделей і систем. Стійкість рівноважного стану. Методи оцінки стійкості. Фазовий простір та фазова траєкторія. Метод ізоклін. Особливі точки та їх типи. Метод лінеаризації систем. Методологія аналізу властивостей біологічних систем. Методи теорії керування. Використання математичних методів аналізу. Моделювання ергатичних систем. Вирішення прикладних задач біології та медицини. Визначення взаємозв'язку. Діагностика. Контроль. Прогнозування. Керування.

Тема 3. Моделювання динаміки популяцій.

Історія популяційних досліджень. Форма і структура популяцій. Лінійне моделювання: модель Мальтуса. Ємність екологічної ніші. Нелінійне моделювання: модель Ферхюлста. Її інтерпретація та узагальнення. Оптимальний обсяг вилову риби. Дискретні моделі популяційної динаміки. Двохкомпонентна модель: рівняння Лотки-Вольтерри, їх дослідження та інтерпретація. Модель екологічної піраміди. Багатопараметричні моделі. Моделювання зв'язків у біоценозі. Моделювання демографічної динаміки у країні та у світі в цілому. Тригерні системи в біології.

Тема 4. Інформаційні процеси в біології та медицині.

Медична та біологічна інформатика. Біологічна та медична кібернетика. Аксіоматика інформаційних технологій. Сучасний стан розвитку інформаційних технологій в біології та медицині. Інформаційно-структурне моделювання. Інфотомування. Методи оцінювання в біології та медицині. Інформаційні технології синтезу моделей. Біологічні та медичні бази даних і знань. Штучний нейрон. Штучні нейронні мережі, їх класифікація. Принципи їх організації та функціонування. Застосування штучних нейронних мереж.

Змістовий модуль 2. Комп'ютерне моделювання лінійних і нелінійних систем в медицині.

Тема 5. Моделювання стохастичних процесів.

Випадкові процеси та способи їх опису. Стохастичні диференційні рівняння. Стохастичне числення. Існування та єдність розв'язку стохастичних диференційних рівнянь. Марківські процеси. Марківська властивість. Ланцюги Маркова та їх властивості. Рівняння Фоккера-Планка, його інтерпретація та застосування. Розподіл випадкової величини в біології та медицині. Нормальний розподіл. Розподіли Максвела і Больцмана. Математична статистика в біології та медицині. Оцінювання вибірки та генеральної сукупності. Обробка та аналіз первинних експериментальних даних. Перевірка гіпотез. Кореляція. Рівняння регресії. Метод найменших квадратів.

Тема 6. Фармакокінетика.

Математичне моделювання біохімічних процесів. Кінетика ферментативних процесів. Множинність стаціонарних станів. Коливальні процеси. Фармакокінетика і її етапи. Характеристика фармакокінетичних параметрів. Однокамерна та двокамерна фармакокінетичні моделі. Кількісні закони всмоктування та елімінації ліків. Рівноважна концентрація лікарського засобу. Моделювання реакції організму на повторну дію хімічних речовин. Самоорганізація в розподілених біологічних системах.

Тема 7. Моделювання обмінних процесів в організмі людини.

Фізіологічні передумови моделювання. Алгоритми керування. Алгоритми зі зворотним зв'язком. Оптимальне програмне керування. Узагальнений критерій якості. Адаптивне керування. Моделі на основі клітинних автоматів. Підтримка гомеостазу на основі нечастих вимірювань. Моделювання метаболічних процесів. Моделювання імунних процесів. Моделювання кровообігу. Моделі внутрішніх органів людини. Моделювання розповсюдження захворювань в певних географічних межах.

Тема 8. Моделювання стану людини та соціальної взаємодії.

Специфіка моделювання складних систем. Структура моделі особистості. Моделі динаміки якостей особистості. Психофізіологічне моделювання особистості. Класичні моделі особистості. Психоаналіз. Модель Айзенка. Модель Кеттела. Модель Олдхема-Морріс. Вітчизнані моделі особистості. Прикладне застосування моделей особистості. Здоров'я як інтегральний критерій та його інформаційний простір. Індекс здоров'я. Модель фізичного статусу здоров'я. Модель психічного статусу здоров'я. Модель соціального статусу здоров'я. Піраміда Маслоу. Моделювання соціальних систем. Основи теорії ігор.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Принципи моделювання біологічних систем												
Тема 1. Основні поняття моделювання.	10	4	2	-	-	4	10	1	1	-		8
Тема 2. Аналіз моделей біологічних систем.	10	4	2	-	-	4	10	2	1	-		7
Тема 3. Моделювання динаміки популяцій.	12	5	2	-	-	5	11	1	2	-		8
Тема 4. Інформаційні процеси в біології та медицині.	13	5	3	-	-	5	10	1	1	-		8
Разом за змістовим модулем 1	45	18	9	-	-	18	41	5	5	-		31
Змістовий модуль 2. Комп'ютерне моделювання лінійних і нелінійних систем в медицині												
Тема 5. Моделювання стохастичних процесів.	13	5	3	-	-	5	11	1	2	-		8
Тема 6. Фармакокінетика.	10	4	2	-	-	4	10	1	1	-		8
Тема 7. Моделювання обмінних процесів в організмі людини.	12	5	2	-	-	5	10	2	1	-		7
Тема 8. Моделювання стану людини та соціальної взаємодії.	10	4	2	-	-	4	10	1	1	-		8
Разом за змістовим модулем 2	45	18	9	-	-	18	41	5	5	-		31
Контрольна робота для студентів заочної форми навчання				-	-		8			-	8	
Усього годин	**90**	**36**	**18**	**-**	**-**	**36**	**90**	**10**	**10**	**-**	**8**	**62**

6. Теми семінарських занять – *навчальним планом не передбачені*

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Способи побудови і розв'язання диференційних рівнянь.	2
2	Аналіз особливих точок. Використання методу ізоклін.	2
3	Застосування моделей Мальтуса, Ферхюлста, Лотки-Вольтерри.	2
4	Проектування штучної нейронної мережі.	3
5	Обробка результатів медико-біологічного експерименту.	3
6	Розрахунок параметрів фармакокінетичної моделі.	2
7	Аналіз моделі вуглеводного обміну в організмі людини.	2
8	Математична основа тестових методик. Побудова моделі особистості.	2
	Разом	18

8. Теми лабораторних занять – *навчальним планом не передбачені*

9. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1	Моделювання стохастичних систем. Зворотний зв'язок. Диференційні рівняння як засіб моделювання. Способи рішень диференційних рівнянь. Дослідження математичних моделей. Математична біологія.	4
2	Моделювання ергатичних систем. Вирішення прикладних задач біології та медицини. Визначення взаємозв'язку. Діагностика. Контроль. Прогнозування. Керування.	4
3	Ємність екологічної ніші. Модель екологічної піраміди. Багатопараметричні моделі. Моделювання зв'язків у біоценозі. Моделювання демографічної динаміки у країні та у світі в цілому.	5
4	Інформаційно-структурне моделювання. Інфотомування. Методи оцінювання в біології та медицині. Інформаційні технології синтезу моделей. Біологічні та медичні бази даних і знань. Застосування штучних нейронних мереж.	5
5	Розподіл випадкової величини в біології та медицині. Нормальний розподіл. Розподіли Максвела і Больцмана. Математична статистика в біології та медицині. Оцінювання вибірки та генеральної сукупності. Обробка та аналіз первинних експериментальних даних. Перевірка гіпотез.	5
6	Кількісні закони всмоктування та елімінації ліків. Рівноважна концентрація лікарського засобу. Моделювання реакції організму на повторну дію хімічних речовин. Самоорганізація в розподілених біологічних системах.	4
7	Моделювання імунних процесів. Моделювання кровообігу. Моделі внутрішніх органів людини. Моделювання розповсюдження захворювань в певних географічних межах.	5

1	2	3
8	Модель Кеттела. Модель Олдхема-Морріс. Вітчизнані моделі особистості. Індекс здоров'я. Модель фізичного статусу здоров'я. Модель психічного статусу здоров'я. Модель соціального статусу здоров'я. Піраміда Маслоу. Моделювання соціальних систем.	4
	Усього	36

10. Індивідуальні завдання

Під час вивчення дисципліни студенти розв'язують задачі, готують доповіді, презентації, есеї, виконують індивідуальні домашні завдання. Крім того, за рішенням кафедри та за узгодженням з науковим керівником здобувачі освіти готують доповіді на щорічну науково-технічну конференцію ВНТУ.

11. Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, фасилітація, тренінг, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні заняття (під час проведення практичних робіт використовується відповідне комп'ютерне устаткування, розташоване в лабораторіях кафедри, презентації, електронні матеріали та програмні засоби), консультації, підготовка статей і доповідей науково-дослідного характеру.

12. Засоби діагностування результатів навчання

Поточний контроль здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту практичних робіт та індивідуальних завдань; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, диференційний залік.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Таблиця 13.1 – Вид контролю – диференційний залік

Поточне оцінювання та самостійна робота								Іспит	Сума
Модуль 1				Модуль 2				25	100
Змістовий модуль № 1				Змістовий модуль № 2					
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8		
37				38					

Т1, Т2 ... Т8 – теми змістових модулів.

Таблиця 13.2 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид робіт	Модуль	
	1	2
1. Виконання практичних робіт / 1 робота	16 / 4	16 / 4
2. Колоквіуми / 1 колоквіум	14 / 14	15 / 15
3. Виконання завдань з СРС	5	5
4. Активна робота на лекційних, практичних заняттях	2	2
Всього	37	38

Таблиця 13.3 – Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (для екзамену, диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики)
90 – 100	A	відмінно
82 – 89	B	добре
75 – 81	C	
64 – 74	D	задовільно
60 – 63	E	
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

14. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

Рівень компетентності	**Національна шкала**	**Шкала ECTS**	**Критерії оцінювання**
IV Високий (творчий) «5»	відмінно	A	Виставляється, якщо при відповіді на питання виявлено всебічні, систематизовані, глибокі знання матеріалу, який виноситься на контроль, уміння вільно виконувати завдання, передбачені програмою, знання основної і додаткової літератури, передбаченої програмою на рівні творчого використання.
III Достатній (конструк-тивний) «4»	добре «4+»	B	Повні знання з питань і задач, що стоять перед студентом. Уміння викладати основні ідеї. Вміння професійно відстоювати свою точку зору. Припускаються несуттєві неточності у викладенні матеріалу та у відповідях.
	добре «4»	C	Достатньо повні знання з поставлених питань і задач. Вміння викладати основні ідеї. Здатність самостійно застосовувати вивчений матеріал на рівні стандартних ситуацій, наводити окремі власні приклади на підтвердження власних тверджень. Вміння доводити правильність своїх рішень. Несуттєві неточності у відповідях та деякі нераціональності при програмуванні задач.

II Середній (репро-дуктив-ний) «3»	задовільно «3+»	D	Студент може відтворити значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання та розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал, робити висновки та розробляти програмні блоки. Пояснення неповні, нелаконічні, не завжди точні. Відповіді на питання неповні, містять неточності, при програмуванні застосовуються не найраціональніші рішення.
	задовільно «3»	E	Задовільні знання програмного матеріалу на рівні вищому за початковий. Здатність за допомогою викладача логічно відтворювати значну частину матеріалу. При відповіді на запитання виникають труднощі у деяких положеннях, відповіді не повні, програми пишуться нераціонально, не використовуються всі ефективні засоби програмування.
I Низький «2»	«незадо-вільно з можливістю повторного складання»	FX	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (40-60%), пояснення не до ладу. Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі. Програми не раціональні та неефективні, при програмуванні використовуються лише прості конструкції.
	«незадо-вільно з обо-в'язковим повторним вивченням дисципліни»	F	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (60-100%). Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі.

15. Рекомендована література

Базова

1. Allman, E. S., Allman, E. S., & Rhodes, J. A. (2004). Mathematical models in biology: an introduction. – Cambridge University Press.
2. Farkas, M. (2001). Dynamical models in biology. – Academic press.
3. Murray J.D. (2002). Mathematical Biology. – New York : Springer.
4. Metz, J. A., & Diekmann, O. (Eds.). (2014). The dynamics of physiologically structured populations. – Springer.
5. Müller, B., Reinhardt, J., & Strickland, M. T. (2012). Neural networks: an introduction. – Springer Science & Business Media.
6. Keener, J. P., & Sneyd, J. (1998). Mathematical physiology (Vol. 1). – New York : Springer.
7. Strogatz, S. H. (2015). Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. – CRC Press.
8. Інформаційні технології в біології та медицині : навчальний посібник / В. І. Гриценко, А. Б. Котова, М. І. Вовк [та ін.]. – К. : Наукова думка, 2007. – 383 с.

9. Беспалова С. В. Математичні моделі біологічних процесів : навчальний посібник / С. В. Беспалова, О. А. Гусєв. – Донецьк : ДонНУ, 2012. – 152 с.

10.Ляшенко І. М. Моделювання біологічних та екологічних процесів : навчальний посібник / І. М. Ляшенко, А. П. Мукоєд. – К. : Київський ун-т, 2002. – 340 с.

11.Шмараков І. О. Біоінформатика : навчально-методичний посібник / І. О. Шмараков, М. М. Марченко. – Чернівці : Рута, 2008. – 76 с.

Допоміжна

1. Mathematical modelling in medicine / eds.: Ottesen, J. T., Danielsen, M. – Amsterdam : IOS Press, 2000. – 244 p.

2. Mazumdar, J. (1999). An introduction to mathematical physiology and biology. Cambridge University Press.

3. Iannelli, M., Martcheva, M., & Milner, F. A. (2005). Gender-structured population modeling: Mathematical methods. Numerics, and Simulations. – Philadelphia : SIAM.

4. Лобанов, А. И. Математическое моделирование нелинейных процессов : учебник для академического бакалавриата / А. И. Лобанов, И. Б. Петров. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 255 с.

5. Математическое моделирование живых систем : учебное пособие / под. общ. ред. О. Э. Соловьевой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 328 с.

6. Математические модели в биологии : учебное пособие / Плюснина Т. Ю., Фурсова П. В., Тёрлова Л. Д., Ризниченко Г. Ю. – Изд. 2-е, доп.. – М.-Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2014. – 136 с.

7. Доценко В. І. Медична інформатика : навчальний посібник / В. І. Доценко, О. В. Сілкова. – Полтава : УМСА, 2005. – 164 с.

8. Методичні рекомендації зі спецкурсу «Методи біофізичних досліджень» / уклад. С. В. Храпатий. – К. : КНУ ім. Т. Шевченка, 2013. – 112 с.

16. Інформаційні ресурси

1. Урванцева Г. А. Методы анализа живых систем [Електронний ресурс] / Г. А. Урванцева, Е. Л. Грачева. – Ярославль : ЯрГУ, 2013. – Режим доступу : https://books.google.com.ua/books?id=uOikCwAAQBAJ.

2. Бейли Н. Математика в биологии и медицине [Електронний ресурс] / Н. Бейли. – Режим доступу : http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1156624.

3. Курс лекций «Биоинформатика и математическое моделирование» [Електронний ресурс] / Г. Ю. Ризниченко // Математическая биология. – Режим доступу : http://mathbio.ru/lectures.

4. Виртуальная лаборатория [Електронний ресурс] / Г. Ю. Ризниченко // Математическая биология. – Режим доступу : http://mathbio.ru/seminar/lab.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsibility for any use which may be made of the information contained therein.