

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено
Вченою радою
математичного факультету

назва факультету

протокол № 1 від «31» серпня 2023 р.

Голова Вченої ради, декан



С.І. Гоменюк
ініціали, прізвище

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
ступеня доктора філософії

зі спеціальності 113 Прикладна математика
код та найменування спеціальності

освітньо-наукова програма Прикладна математика
назва освітньо-наукової програми

Укладач:

Клименко М. І., доцент кафедри фундаментальної та прикладної математики, кандидат
фізико-математичних наук, доцент

Погоджено:

Гарант освітньо-наукової програми

підпис

С.М. Гребенюк
ініціали, прізвище

Запоріжжя 2023

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна, вечірня, заочна форми навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань 11 Математика і статистика (шифр і назва)	нормативна
		Цикл професійної підготовки
Змістових модулів – 4	Спеціальність <u>113 Прикладна математика</u> (шифр і назва)	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 90		2-й
Освітньо-наукова програма Прикладна математика		Лекції 12 год.
		Практичні заняття 12 год.
Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)		Самостійна робота
		66 год.
		Вид підсумкового контролю: екзамен

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є ознайомлення аспірантів з науковими основами, методологією та особливостями математичного моделювання складних систем.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Математичне моделювання складних систем» є: формування у аспірантів цілісної системи знань та навичок щодо теорії та практики математичного моделювання складних систем, необхідної для подальшої наукової та професійної діяльності фахівців з прикладної математики. За підсумками вивчення курсу аспіранти повинні ознайомитися з методикою моделювання складних природних, технічних та соціально-економічних систем, методами побудови та аналізу динамічних моделей, принципами статистичного та імітаційного моделювання.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких **програмних компетентностей і програмних результатів навчання:**

Програмні компетентності	
ЗК1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
ЗК2	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
ЗК10	Здатність розв'язувати комплексні проблеми прикладної математики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної

	доброчесності
СК1	Здатність до розуміння основних концепцій, історичних витоків, сучасного стану та тенденції розвитку прикладної математики; оволодіння термінологією з досліджуваного наукового напрямку
СК2	Здатність здійснювати планування та виконання оригінальних досліджень, досягати наукових результатів, які створюють нові знання як в предметній області, так і в міждисциплінарних напрямках, і можуть бути опубліковані у провідних вітчизняних та міжнародних наукових виданнях з галузі математики та статистики та суміжних галузей
СК3	Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру; оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень; комерціалізувати їх результати; здійснювати захист прав інтелектуальної власності
СК4	Здатність використовувати сучасні методології, методи та інструменти емпіричних і теоретичних досліджень у галузі, методи комп'ютерного моделювання, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та науково-педагогічній діяльності
СК5	Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та іноземною мовами, демонструвати глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень; володіти навичками академічного письма
СК6	Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти, в тому числі міждисциплінарні, з урахуванням соціальних, економічних, екологічних, міжкультурних та правових аспектів; демонструвати лідерство та відповідальність під час їх реалізації.
СК7	Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері прикладної математики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень
СК8	Здатність розробляти нові та вдосконалювати існуючі моделі та методи математичного та комп'ютерного моделювання природних та інженерно-технічних систем та процесів, а також критично оцінювати отримані результати
Програмні результати навчання	
ПРН1	Мати передові концептуальні та методологічні знання з предметної області та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій
ПРН3	Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи
ПРН6	Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми зі спеціальності прикладна математика державною та іноземною мовами; оприлюднювати

	результати досліджень у наукових публікаціях у провідних вітчизняних та міжнародних наукових виданнях з дотриманням правил академічного письма; здійснювати ефективну міжособистісну комунікацію; демонструвати навички публічних виступів, аргументації та риторики.
ПРН7	Критично аналізувати та узагальнювати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті всього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної наукової проблеми, визначати перспективи подальших наукових розвідок
ПРН8	Демонструвати системний науковий світогляд та загальний культурний кругозір; володіти техніками і технологіями критичного мислення; дотримуватися принципів академічної доброчесності та професійної етики; забезпечувати безперервний саморозвиток та самовдосконалення протягом життя
ПРН11	Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері прикладної математики та дотичних міждисциплінарних напрямках
ПРН12	Здійснювати розробку та вдосконалення методів розв'язання науково-прикладної задачі

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем

Тема 1. Поняття та характеристики складних систем. Поняття складної системи. Ефективність функціонування складної системи. Показники, що характеризують властивості складних систем. Основні задачі моделювання складних систем.

Тема 2. Основні принципи моделювання складних систем. Формалізація процесів функціонування складних систем. Основні підходи до побудови математичних моделей: використання фундаментальних законів природи, варіаційні принципи, застосування аналогій, ієрархічний підхід. Універсальність математичних моделей. Основні способи застосування математичних моделей складних систем.

Змістовий модуль 2. Математичні моделі динамічних систем

Тема 3. Математичне моделювання динамічних систем. Динамічна система та її стан. Диференціальні моделі динамічних систем. Дискретні еволюційні моделі. Якісне дослідження поведінки динамічних систем. Стійкість динамічних систем. Типові біфуркації. Елементи теорії катастроф. Хаос у динамічних системах. Системи з випадковими шумами.

Змістовий модуль 3. Статистичне моделювання

Тема 4. Побудова статистичних моделей. Статистичне оцінювання та порівняння багатовимірних генеральних сукупностей. Багатофакторний кореляційний

аналіз. Багатофакторний регресійний аналіз. Компонентний аналіз. Факторний аналіз. Методи багатовимірної класифікації: кластерний та дискримінантний аналіз. Статистичні моделі прогнозування.

Змістовий модуль 4. Імітаційне моделювання складних систем

Тема 5. Моделювання випадкових величин. Метод Монте-Карло. Рівномірні випадкові послідовності. Основні методи генерування випадкових чисел. Загальні методи генерування випадкових послідовностей. Моделювання багатовимірних випадкових векторів.

Тема 6. Моделювання з використанням імітаційного підходу. Сутність та основні етапи імітаційного моделювання. Логічні структурні схеми імітаційних моделей. Реалізація імітаційних моделей. Імітатор системи масового обслуговування. Клітинні автомати. Імітаційна модель управління запасами.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		л.	практ	сам. роб.
1	2	3	4	5
Змістовий модуль 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем				
Тема 1. Поняття та характеристики складних систем	10	2	2	6
Тема 2. Основні принципи моделювання складних систем	12	2	2	8
Разом за змістовим модулем 1	22	4	4	14
Змістовий модуль 2. Математичні моделі динамічних систем				
Тема 3. Математичне моделювання динамічних систем	22	2	2	18
Разом за змістовим модулем 2	22	2	2	18
Змістовий модуль 3. Статистичне моделювання				
Тема 4. Побудова статистичних моделей	20	2	2	16
Разом за змістовим модулем 3	20	2	2	16
Змістовий модуль 4. Імітаційне моделювання складних систем				
Тема 5. Моделювання випадкових величин	12	2	2	8
Тема 6. Моделювання з використанням імітаційного підходу	14	2	2	10
Разом за змістовим модулем 4	26	4	4	18
Усього годин	90	12	12	66

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем		
1	Поняття та характеристики складних систем	2
2	Основні принципи моделювання складних систем	2
	Разом за змістовим модулем 1	4
Змістовий модуль 2. Математичні моделі динамічних систем		
3	Математичне моделювання динамічних систем	2
	Разом за змістовим модулем 2	2
Змістовий модуль 3. Статистичне моделювання		
4	Побудова статистичних моделей	2
	Разом за змістовим модулем 3	2
Змістовий модуль 4. Імітаційне моделювання складних систем		
5	Моделювання випадкових величин	2
6	Моделювання з використанням імітаційного підходу	2
	Разом за змістовим модулем 4	4
Усього годин		12

6. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем		
1	Поняття та характеристики складних систем	2
2	Основні принципи моделювання складних систем	2
	Разом за змістовим модулем 1	4
Змістовий модуль 2. Математичні моделі динамічних систем		
3	Математичне моделювання динамічних систем	2
	Разом за змістовим модулем 2	2
Змістовий модуль 3. Статистичне моделювання		
4	Побудова статистичних моделей	2
	Разом за змістовим модулем 3	2
Змістовий модуль 4. Імітаційне моделювання складних систем		
5	Моделювання випадкових величин	2
6	Моделювання з використанням імітаційного підходу	2
	Разом за змістовим модулем 4	4
Усього годин		12

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем		
1	Основні алгоритми моделювання складних систем	3
1	Формалізація процесів функціонування складних систем	3
2	Використання подібності при побудові математичних моделей	4
2	Верифікація математичних моделей	4
	Разом за змістовим модулем 1	14
Змістовий модуль 2. Математичні моделі динамічних систем		
3	Самоорганізація у динамічних системах	6
3	Використання фрактальних структур у моделюванні динамічних систем	6
3	Нечіткі моделі динамічних систем	6
	Разом за змістовим модулем 2	18
Змістовий модуль 3. Статистичне моделювання		
4	Порівняння багатовимірних генеральних сукупностей	5
4	Перевірка гіпотези про нормальний розподіл багатовимірної генеральної сукупності	5
4	Метод головних факторів	6
	Разом за змістовим модулем 3	16
Змістовий модуль 4. Імітаційне моделювання складних систем		
5	Генерування псевдовипадкових чисел	4
5	Моделювання марковських випадкових процесів	4
6	Операторні схеми імітаційних моделей	5
6	Імітаційне моделювання виробничих систем	5
	Разом за змістовим модулем 4	18
Усього годин		66

8. ВИДИ КОНТРОЛЮ І СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ БАЛІВ

№ зміст цього модуля	Вид контролю	Кіл-ть балів
ПОТОЧНИЙ		
1	<i>Контрольна робота № 1. Сутність та задачі математичного моделювання складних систем (max 10 балів)</i>	10
2	<i>Контрольна робота № 2. Математичні моделі динамічних систем (max 10 балів)</i>	10
3	<i>Контрольна робота № 3. Статистичне моделювання (max 20 балів)</i>	20

4	Контрольна робота № 4. Імітаційне моделювання складних систем(маx 20 балів)	20
	Загалом за поточним контролем:	60
ПІДСУМКОВИЙ		
	Екзамен, у тому числі:	40
	Підготовка доповіді на науковий семінар або наукову конференцію із застосуванням інструментарію моделювання складних систем	30
	Тестування у системі Moodle	10
	Усього	100

9. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

№	Контрольні заходи	Критерії оцінювання
ПОТОЧНИЙ		
1	Контрольна робота №1	Максимальна кількість балів – 10. Контрольна робота містить 3 теоретичні питання та 2 практичні завдання. Розгорнута відповідь на кожне питання та та виконання кожного завдання оцінюється у 2 бали.
2	Контрольна робота № 2	Максимальна кількість балів – 10. Контрольна робота містить 3 теоретичні питання та 2 практичні завдання. Розгорнута відповідь на кожне питання та та виконання кожного завдання оцінюється у 2 бали.
3	Контрольна робота № 3	Максимальна кількість балів – 20. Робота складається з 2 практичних завдань, виконання та захист кожного з них максимально оцінюється у 10 балів.
4	Контрольна робота № 4	Максимальна кількість балів – 20. Робота складається з 2 практичних завдань, виконання та захист кожного з них максимально оцінюється у 10 балів.
ПІДСУМКОВИЙ		
5	Тестування	Максимальна кіл-ть балів – 10. Тест складається з 10 питань. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал.
6	Наукова доповідь з використанням математичного моделювання складних систем	Максимальна кіл-ть балів – 30. При цьому оцінюється відповідність інструментарію обраного метода завданням дослідження (5 балів), логічність та послідовність викладення результатів досліджень (5 балів), обґрунтованість висновків (10 балів), стиль наукового мовлення й грамотність (10 балів).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

<i>За шкалою ECTS</i>	<i>За шкалою університету</i>	<i>За національною шкалою</i>
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)
C	75 – 84 (добре)	
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)
E	60 – 69 (достатньо)	
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)	

Оцінка 5 (відмінно) (90 – 100 балів) виставляється, якщо здобувач у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано викладає його під час усних виступів та надання письмових відповідей; демонструє високий рівень застосування отриманих умінь і навичок, а також оригінальний підхід під час виконання практичних завдань.

Оцінка 4 (добре) (75 – 89 балів) виставляється, якщо здобувач достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та надання письмових відповідей; в основному розкриває зміст теоретичних питань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу; демонструє високий рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань. Проте, при викладенні деяких теоретичних питань та вирішення практичних завдань може припускатися окремих несуттєвих неточностей та незначних помилок.

Оцінка 3 (задовільно) (60 – 74 бали) виставляється, якщо здобувач в цілому володіє навчальним матеріалом, демонструє середній рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань, припускаючись при цьому суттєвих неточностей та окремих помилок.

Оцінка 2 (незадовільно з можливістю повторного складання) (35 – 59 балів) виставляється, якщо здобувач слабо володіє навчальним матеріалом. Демонструє низький рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань, припускаючись суттєвих помилок та неточностей.

Оцінка 1 (незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни) (0 – 34 бали) виставляється, якщо здобувач майже не володіє навчальним матеріалом, не вміє застосовувати отримані уміння й навички під час виконання практичних завдань.

10. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

до змістового модуля 1

1. Клименко М.І., Гребенюк С.М. Математичне моделювання складних систем. Конспект лекцій для аспірантів спеціальності 113 «Прикладна математика». Запоріжжя. ЗНУ, 2021. 73 с.
2. Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Математичне моделювання систем і процесів. Київ : НАУ, 2017. 392 с.
3. Маценко В.Г. Математичне моделювання. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. 519 с.
4. Boccara Nino. Modeling Complex Systems. New York: Springer New York Dodrecht Heidelberg London, 2010. 489 p.
5. Hiroki Sayma. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. New York, Geneseo: Binghamton University SUNY, 2015. 474p.

до змістового модуля 2

1. Клименко М.І., Гребенюк С.М. Математичне моделювання складних систем. Конспект лекцій для аспірантів спеціальності 113 «Прикладна математика». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 73 с.
2. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. Введення в моделювання динамічних систем. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2020. 131 с.
3. Маценко В.Г. Математичне моделювання. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. 519 с.
6. Boccara Nino. Modeling Complex Systems. New York: Springer New York Dodrecht Heidelberg London, 2010. 489 p.
7. Hiroki Sayma. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. New York, Geneseo: Binghamton University SUNY, 2015. 474p.

до змістового модуля 3

1. Клименко М.І., Гребенюк С.М. Математичне моделювання складних систем. Конспект лекцій для аспірантів спеціальності 113 «Прикладна математика». Запоріжжя. ЗНУ, 2021. 73 с.

2. Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Математичне моделювання систем і процесів. Київ : НАУ, 2017. 392 с.
3. Богданова Н.В., Богданов О.В. Математичне моделювання систем і процесів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 85 с.
4. Boccara Nino. Modeling Complex Systems. New York : Springer New York Dodrecht Heidelberg London, 2010. 489 p.

до змістового модуля 4

1. Клименко М.І., Гребенюк С.М. Математичне моделювання складних систем. Конспект лекцій для аспірантів спеціальності 113 «Прикладна математика». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 73 с.
2. Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Математичне моделювання систем і процесів. Київ : НАУ, 2017. 392 с.
3. Boccara Nino. Modeling Complex Systems. New York: Springer New York Dodrecht Heidelberg London, 2010. 489 p.
4. Hiroki Sayma. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. New York, Geneseo: Binghamton University SUNY, 2015. 474p.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL:
<https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=12869>
2. [https://alison.com/course/engineering-system-design-modeling-techniques-and-simulations?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PPC Tier-4 Course-2439 Engineering-System-Design:-Modeling-Techniques-and-Simulations&utm_adgroup=Course-2439](https://alison.com/course/engineering-system-design-modeling-techniques-and-simulations?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PPC_Tier-4_Course-2439_Engineering-System-Design:-Modeling-Techniques-and-Simulations&utm_adgroup=Course-2439)
3. <https://milneopentextbooks.org/introduction-to-the-modeling-and-analysis-of-complex-systems/>
4. <http://www.disslib.org/fizyko-matematychni-nauky.html>