

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра моделювання систем і технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи



Антон ПАВТЕЛЕЙМОНОВ

“ 30 02 2021 ” 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«Моделювання систем»

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
галузь знань	12 Інформаційні технології
спеціальність	122 Комп'ютерні науки
освітня програма	Комп'ютерні науки
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	Комп'ютерних наук

2021 / 2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук

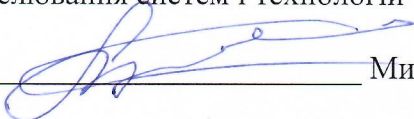
«30» червня 2021 року, протокол № 15

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: доктор технічних наук, професор кафедри моделювання систем і технологій **Северин Валерій Петрович**.

Програму схвалено на засіданні кафедри моделювання систем і технологій

Протокол від «04» червня 2021 року № 12

Завідувач кафедри моделювання систем і технологій

  
\_\_\_\_\_ Микола ТКАЧУК

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми 122 «Комп'ютерні науки»

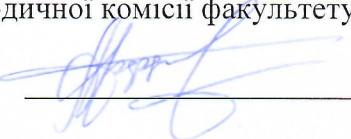
Гарант освітньо-професійної програми 122 «Комп'ютерні науки»

  
\_\_\_\_\_ Микола СТЕРВОЄДОВ

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від «25» червня 2021 року № 9

Голова науково-методичної комісії факультету комп'ютерних наук

  
\_\_\_\_\_ Анатолій БЕРДНІКОВ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Моделювання систем» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Мета курсу полягає у навчанні майбутніх спеціалістів методам математичного моделювання стохастичних систем.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

Завдання полягає у навчанні застосування теорії випадкових процесів, теорії диференціальних рівнянь в моделюванні реальних систем.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні компетентності.

#### *Загальні компетентності (ЗК):*

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК3);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК6);
- здатність працювати в команді (ЗК9);
- здатність бути критичним і самокритичним (ЗК10);
- 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 в Україні (ЗК14).

#### *Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК):*

- здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо (ФК2);
- здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні розв'язки, будувати моделі оптимального управління з урахуванням змін економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії (ФК5);
- здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів (ФК7);
- здатність застосовувати методології, технології та інструментальні засоби для управління процесами життєвого циклу інформаційних і програмних систем, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог замовника (ФК10);
- здатність застосовувати методи та засоби забезпечення інформаційної безпеки, розробляти й експлуатувати спеціальне програмне забезпечення захисту

інформаційних ресурсів об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (ФК14);

- здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі хмарних сервісів і технологій, паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації. (ФК16);
- вміння працювати у команді, готовність до спілкування, як з колегами так і з клієнтами (комунікативні навички) (ФК18).

1.3. Кількість кредитів - 4.

1.4. Загальна кількість годин - 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
<u>Обов'язкова</u> / за вибором	
Денна форма навчання	Денна форма навчання
Рік підготовки	
4-й	4-й
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
год.	24 год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	24 год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
год.	72 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**Знати**

- основні поняття моделювання, класифікації моделей, загальні прийоми моделювання, існуючі методи моделювання детермінованих і стохастичних систем;
- можливості математичних розділів для завдань моделювання об'єктів, використання марківських процесів в моделюванні, рівняння Колмогорова для ймовірності станів стохастичних об'єктів;
- практичні навички в алгоритмізації функціонування складних систем для завдань побудови імітаційних моделей;
- способи оцінки достовірності моделювання і здобуття відповідних практичних навиків;
- побудова моделей із застосуванням апарату систем масового обслуговування, метод квазірегуляризації для аналізу функціонування великих стохастичних систем.

**вміти:**

- будувати моделі детермінованих і стохастичних об'єктів;
- використовувати імітаційне моделювання для аналізу складних стохастичних об'єктів;
- застосовувати метод динаміки середніх для обчислення характеристик великих стохастичних об'єктів.

В Результаті вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні програмні результати навчання (ПРН):

- використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації (ПРН2);
- використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей (ПРН03);
- використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання, нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації, ідентифікації об'єктів керування тощо (ПРН04);
- проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій (ПРН05);
- використовувати інструментальні засоби розробки клієнт-серверних застосувань, проектувати концептуальні, логічні та фізичні моделі баз даних, розробляти та оптимізувати запити до них, створювати розподілені бази даних, сховища та вітрини даних, бази знань, у тому числі на хмарних сервісах, із застосуванням мов веб-програмування (ПРН10);
- володіти навичками управління життєвим циклом програмного забезпечення, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог і обмежень замовника, вміти розробляти проектну документацію (техніко-економічне обґрунтування, технічне завдання, бізнес-план, угоду, договір, контракт) (ПРН11);
- застосовувати методи та алгоритми обчислювального інтелекту та інтелектуального аналізу даних в задачах класифікації, прогнозування, кластерного аналізу, пошуку асоціативних правил з використанням програмних інструментів підтримки багатовимірного аналізу даних (ПРН12);
- володіти мовами системного програмування та методами розробки програм, що взаємодіють з компонентами комп'ютерних систем, знати мережні технології, архітектури комп'ютерних мереж, мати практичні навички технології адміністрування комп'ютерних мереж та їх програмного забезпечення (ПРН14).

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### ***Розділ 1. Методи моделювання простих систем.***

#### *Тема 1. Моделювання як метод наукового пізнання.*

Цілі і завдання моделювання. Моделювання детермінованих і стохастичних об'єктів. Види моделей, математична модель. Рівні моделювання, системний підхід в моделюванні. Ефективність моделювання на ЕОМ.

#### *Тема 2. Марківські процеси в моделюванні.*

Марківські ланцюги, випадкові потоки, марківські процеси з безперервним часом. Рівняння Колмогорова для ймовірності станів.

#### *Тема 3. Стохастичні моделі об'єктів.*

Імітаційне моделювання, випадкові процеси в моделюванні стохастичних динамічних об'єктів. Стохастичні моделі об'єктів. Використання марківських процесів для аналізу складних систем. Використання методів розділу інформатики СN2.

#### *Тема 4. Моделювання систем масового обслуговування.*

Марківські моделі систем масового обслуговування.

### ***Розділ 2. Методи моделювання складних систем. Моделі надійності.***

#### *Тема 5. Моделювання великих систем з використанням методу динаміки середніх.*

Моделювання стохастичної системи великого числа однорідних елементів. Моделювання великих систем з використанням методу динаміки середніх. Облік залежності інтенсивності потоків подій від чисельності станів. Принцип квазірегулярності Дінера. Зв'язок з розділами інформатики СN2. Вживання курсів CS307, CS390 в моделюванні великих систем.

#### *Тема 6. Моделі з врахуванням поповнення чисельності станів.*

Диференціальні рівняння для великих систем, чисельність елементів яких може змінюватися.

#### *Тема 7. Моделювання систем, що складаються з неоднорідних елементів.*

Узагальнення моделі великої системи, елементи якої можуть складатись з деяких класів різних об'єктів.

#### *Тема 8. Аналіз моделі. Гранична поведінка середній чисельності станів.*

Аналітичне дослідження великої системи. Стійкість, цикли.

#### *Тема 9. Моделювання надійності технічних систем.*

Методи оптимізації надійності технічних систем.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Методи моделювання простих систем.</b>						
<b>Тема 1.</b> Моделювання як метод наукового пізнання.	8	2				6
<b>Тема 2.</b> Марківські процеси в моделюванні.	13	2	4			7
<b>Тема 3.</b> Стохастичні моделі об'єктів.	12	2	2			8
<b>Тема 4.</b> Моделювання систем масового обслуговування.	18	4	4			10
<b>Разом за розділом 1</b>	51	10	10			31
<b>Розділ 2. Методи моделювання складних систем. Моделі надійності.</b>						
<b>Тема 5.</b> Моделювання великих систем з використанням методу динаміки середніх.	19	4	6			9
<b>Тема 6.</b> Моделі з врахуванням поповнення чисельності станів.	13	2	2			9
<b>Тема 7.</b> Моделювання систем, що складаються з неоднорідних елементів	8	2				6
<b>Тема 8.</b> Аналіз моделі. Гранична поведінка середній чисельності станів.	10	2	2			6
<b>Тема 9.</b> Моделювання надійності технічних систем.	14	4	4			6
Підготовка до контрольної роботи	5					5
<b>Разом за розділом 2</b>	69	14	14			41
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>24</b>	<b>24</b>			<b>72</b>

### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ теми	Назва теми	Кількість годин
1	Марківські ланцюги, поглинаючи марківські ланцюги, випадкові потоки.	2
	Рівняння Колмогорова для ймовірності станів.	2
2	Імітаційне моделювання.	2
3	Марківські моделі систем масового обслуговування.	4
4	Моделювання стохастичної системи великого числа однорідних елементів.	4
	Принцип квазірегулярності Дінера.	2
5	Диференціальні рівняння для великих систем.	2
6	Аналітичне дослідження великої системи.	2
7	Моделювання надійності технічних систем.	4
<b>Усього годин</b>		<b>24</b>

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ теми	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Моделювання як метод наукового пізнання.	6
2	Марківські ланцюги, поглинаючи марківські ланцюги, випадкові процеси. <i>Визначення марківського ланцюга, перехідної матриці, початкового розподілу вірогідності станів марковського ланцюга. Класифікація марківських ланцюгів. Фундаментальна матриця поглинаючого марківського ланцюга. Визначення випадкового процесу і його характеристики.</i>	3,5
	Рівняння Колмогорова для ймовірності станів. <i>Безперервні марківські процеси. Складання рівнянь для вірогідності станів безперервного марківського процесу. Гранична вірогідність станів марківського процесу і їх обчислення.</i>	3,5
3	Імітаційне моделювання. <i>Моделювання системи масового обслуговування з непуассоновськими потоками.</i>	8
4	Марківські моделі систем масового обслуговування. <i>Складання рівнянь Колмогорова для вірогідності станів систем масового обслуговування з пріоритетними і непріоритетними заявками і з кінцевою чергою.</i>	10
5	Моделювання стохастичної системи великого числа однорідних елементів.	4,5
	Принцип квазірегулярності Дінера. <i>Складання системи рівнянь Колмогорова для вірогідності станів великої системи, в якій інтенсивності переходів між станами залежать від станів системи.</i>	4,5
6	Диференціальні рівняння для великих систем.	9
7	Узагальнення моделі великої системи, елементи якої можуть складатись з деяких класів різних об'єктів.	6
8	Аналітичне дослідження великої системи. <i>Аналіз моделі. Гранична поведінка середній чисельності станів. Стійкість, цикли.</i>	6
9	Моделювання надійності технічних систем. <i>Визначення функції надійності технічної системи. Складання моделі технічної системи з можливою відмовою на заданому інтервалі часу, обчислення середнього доходу, приношеного системою на цьому інтервалі.</i>	6
10	Підготовка до контрольної роботи	5
<b>Усього годин</b>		<b>72</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Контрольна робота.

### 7. Методи навчання

Лекції – проводяться аудиторно, а в умовах дії карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторне або дистанційно за допомогою платформ Google Meet або Zoom).



Практичні заняття, використання математичних методів в задачах моделювання економічних і технічних систем, проведення поточного контролю знань – очна форма.

## 8. Методи контролю

Перевірка контрольних робіт. *Контрольна робота містить два питання. Перше - теоретичне. Друге питання містить умову задачі для вирішення.*

Проведення заліку. *Залік проводиться в письмовій формі. Завдання містить 3 питання. 1 питання - теоретичне. 2 - умова завдання для вирішення, 3 - умова завдання для вирішення.*

## 9. Схема нарахування балів

2 семестр

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Контр робота	Разом	Залік	Сума
Розділ 1											
T1-T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9				
5	5	5	5	5	5	5	5	20	60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

### Критерії оцінювання навчальних досягнень.

*Критерії поточної оцінки знань студентів за виконання практичної та самостійної роботи (крок оцінювання 1 бал)*

В повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову та додаткову літературу. Правильно вирішив усі завдання (**кількість балів 4**).

Достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, в основному розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу. Але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. Правильно вирішив більшість практичних завдань (**кількість балів 3**).

В цілому володіє навчальним матеріалом викладає його основний зміст під час усних виступів та письмових відповідей, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, без використання необхідної літератури допускаючи при цьому окремі суттєві неточності та помилки. Правильно вирішив половину практичних завдань (**кількість балів 2**).

Частково володіє навчальним матеріалом не в змозі викласти зміст більшості питань теми під час усних виступів та письмових відповідей, допускаючи при цьому суттєві помилки. Правильно вирішив окремі практичні завдання (**кількість балів 1**).

Не володіє навчальним матеріалом та не в змозі його викласти, не розуміє змісту теоретичних питань та практичних завдань. Не вирішив жодного практичного завдання (**кількість балів 0**).

***Критерії поточної оцінки знань студентів за виконання практичної та самостійної роботи (крок оцінювання 2 бала)***

В повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову та додаткову літературу. Правильно вирішив усі завдання (**кількість балів 6**).

Достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, в основному розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу. Але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. Правильно вирішив більшість практичних завдань (**кількість балів 4**).

Частково володіє навчальним матеріалом не в змозі викласти зміст більшості питань теми під час усних виступів та письмових відповідей, допускаючи при цьому суттєві помилки. Правильно вирішив окремі практичні завдання (**кількість балів 2**).

Не володіє навчальним матеріалом та не в змозі його викласти, не розуміє змісту теоретичних питань та практичних завдань. Не вирішив жодного практичного завдання (**кількість балів 0**).

***Критерії поточної оцінки знань студентів за виконання практичної та самостійної роботи (крок оцінювання 2 бала)***

В повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову та додаткову літературу. Правильно вирішив усі завдання (**кількість балів 10**).

Достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, в основному розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу. Але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. Правильно вирішив більшість практичних завдань (**кількість балів 8**).

В цілому володіє навчальним матеріалом викладає його основний зміст під час усних виступів та письмових відповідей, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, без використання необхідної літератури допускаючи при цьому окремі суттєві неточності та помилки. Правильно вирішив половину практичних завдань (**кількість балів 6**).

Не в повному обсязі володіє навчальним матеріалом. Фрагментарно, поверхово (без аргументації та обґрунтування) викладає його під час усних виступів та письмових відповідей, недостатньо розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, допускаючи при цьому суттєві неточності, правильно вирішив меншість практичних завдань (**кількість балів 4**).

Частково володіє навчальним матеріалом не в змозі викласти зміст більшості питань теми під час усних виступів та письмових відповідей, допускаючи при цьому суттєві помилки. Правильно вирішив окремі практичні завдання (**кількість балів 2**).

Не володіє навчальним матеріалом та не в змозі його викласти, не розуміє змісту теоретичних питань та практичних завдань. Не вирішив жодного практичного завдання (**кількість балів 0**).

**Критерії поточної оцінки знань студентів за виконання контрольної роботи***Перше питання.*

- Правильна і повна відповідь на перше питання. (5 балів).
- Відповідь з незначними помилками. (4 бали).
- Відповідь, яка містить одну суттєву неточність. (3 бали).
- Відповідь з істотними помилками. (2 бали).
- Відповідь неповна з істотними помилками. (1 бал).
- Відсутність відповіді. (0 балів).

*Друге питання.*

- Рішення завдання правильне і повне. (15 балів).
- Правильний хід рішення, але рішення не закінчено. Істотні помилки відсутні. (10-14 балів).
- Рішення містить суттєву помилку і не завершено. (5-9 балів).
- Рішення відсутнє або запропоновано рішення з декількома істотними помилками. (0-4 бали).

**Критерії підсумкової оцінки знань студентів (залік).***1 питання теоретичне.*

- Правильна і повна відповідь (5 балів).
- Відповідь не повна, істотних помилок не містить. (4 бали).
- Відповідь не повна, містить одну суттєву помилку. (3 бали).
- Відповідь не повна і містить дві суттєві помилки. (2 бали).
- Відповідь не повна і містить більше двох помилок. (1 бал).
- Відповідь відсутня. (0 балів)

*2 питання. Практичне.*

- Завдання вирішене правильно і повністю. (20 балів).
- Рішення в основному правильне, містить неточності в поясненнях. (18-19 балів).
- Підхід до вирішення завдання правильний, але є помилкові дії і висновки. (12-17 балів).
- Підхід до вирішення завдання неправильний або має лише фрагменти правильних дій і висновків. (0-11 балів).

*3 питання. Практичне.*

- Завдання вирішене правильно і повністю. (15 балів).
- Рішення в основному правильне, містить неточності в поясненнях. (12-14 балів).
- Підхід до вирішення завдання правильний, але є помилкові дії і висновки. (8-11 балів).
- Підхід до вирішення завдання неправильний або має лише фрагменти правильних дій і висновків. (0-7 балів).

**Шкала оцінювання**

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	зараховано
70-89	
50-69	
1-49	не зараховано

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Стеценко І.В. Моделювання систем: навчальний посібник. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 399 с.
2. Задачин В.М, Конюшенко І.Г. Моделювання систем : конспект лекцій. – Харків: Видавництво ХНЕУ, 2010. – 268 с.
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
4. Томашевський В.М. Моделювання систем. – Київ: Видавнича група ВНУ, 2005. – 349 с.
5. Кузьменко Б.В., Чайковська О.А. Моделювання систем: навчальний посібник. – Київ: КНУКМ, 2008. – 134 с.
6. Моделювання процесів і систем / Лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.В. Савчук, О.М. Моргаль. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 220 с.
7. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.

### Допоміжна література

1. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.
2. Бахрушин В.Є. Математичне моделювання. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2004.
3. Voccara N. Modeling complex system. New York:Springer, 2004.
4. Olive A. Conceptual Modeling of Information Systems. – Berlin-Heidelberg: SpringerVerlag, 2007.
5. Heinz St. Mathematical Modeling. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
6. Gould H., Tobochnik J., Christian W. An Introduction to Computer Simulation Methods. – N.-Y.: Addison Wesley, 2007.
7. Гамаюн І. П., Чередніченко О. Ю. Моделювання систем: навч. посіб. для студентів спеціальностей 6.050103 «Програмна інженерія», 6.050101 «Комп'ютерні науки». Харків : Факт, 2015. – 228 с.
8. Обод І. І., Заволодько Г. Е., Свид І. В. Математичне моделювання систем: навч. посіб. для студентів спеціальностей «Комп'ютерна інженерія», «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Харків : Друкарня МАДРИД, 2019. – 268 с.
9. Нікуліна О. М., Северин В. П., Надуєва М. О., Бубнов А. І. Моделювання розвитку епідемії на основі інформаційної технології оптимізації // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – № 2 (6). – С. 47–52.
10. Нікуліна О. М., Северин В. П., Бубнов А. І., Кондратов О. М., Розробка нелінійної моделі парогенератора АЕС для інформаційної технології оптимізації управління // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – № 1 (7). – С. 21–27.
11. Нікуліна О. М., Северин В. П., Шаров В. О. Розробка моделі завадостійкої передачі даних для інформаційної технології оптимізації управління динамічними системами // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – № 2 (8). – С. 57–62.

**11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45727/1/Model\\_system.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45727/1/Model_system.pdf)