


Додаток до робочої програми навчальної дисципліни «Моделювання систем»

Дію робочої програми продовжено: на 2023/2024 н. р.

Заступник декана факультету комп'ютерних наук з навчальної роботи

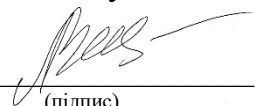


(підпис)
«21» червня 2023 р.

Євгенія КОЛОВАНОВА

(прізвище, ініціали)

Голова науково-методичної комісії факультету комп'ютерних наук



(підпис)
«21» червня 2023 р.

Лариса ВАСИЛЬЄВА

(прізвище, ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра моделювання систем і технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи



Олександр ГОЛОВКО

” _____ 2022р.

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 _____

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук

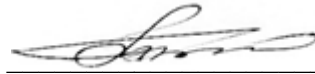
« 29 » серпня 2022 року, протокол № 14

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

Програму схвалено на засіданні кафедри моделювання систем і технологій

Протокол від « 29 » серпня 2022 року № 11

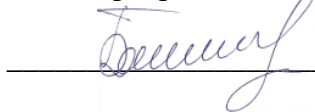
Завідувач кафедри моделювання систем і технологій



Микола ТКАЧУК

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

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

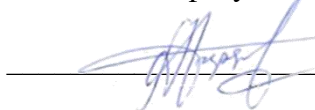


Сергій БОГУЧАРСЬКИЙ

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від « 29 » серпня 2022 року № 1

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.

Предметом вивчення є підходи і принципи побудови моделей та їх застосування для розв'язання задач моделювання, що виникають при розробці чи дослідженні комп'ютерних інформаційних й інших систем.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є формування теоретичних знань з основ моделювання систем, засвоєння студентами основних підходів і принципів побудови моделей та надбання навичок їх застосування для рішення задач моделювання, що виникають при розробці комп'ютерних інформаційних й інших систем.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

- вивчення типових математичних схем моделювання систем;
- вивчення статистичного моделювання систем;
- вивчення сучасних способів моделювання складних інформаційних систем;
- вивчення практичних підходів до моделювання систем (технології моделювання);
- ознайомлення з основними мовами імітаційного моделювання систем.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні компетентності.

Загальні компетентності (ЗК):

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2);
- 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 математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування (ФК1);
- 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 використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач (ФК4);
- 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);

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов'язкова / 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 навичок;
- 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 (ПРН02);
- 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 багатовимірною 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. Основи моделювання систем.

Тема 1. Вступ до моделювання систем.

Інформаційна технологія моделювання. Загальні динамічні моделі. Приклад складної системи. Приклади математичних моделей. Приклади імітаційного моделювання. Приклади ідентифікації моделей. Приклади використання моделей.

Тема 2. Основні поняття моделювання систем.

Вступ у теорію моделювання. Поняття моделювання. Поняття системи. Рівні абстрактного опису систем. Поняття моделі. Співвідношення між моделлю та системою.

Тема 3. Види моделей.

Види моделей та їх класифікація. Математичні моделі. Імітаційні моделі. Поняття складної системи. Вимоги до моделей.

Тема 4. Види моделювання.

Основні види моделювання. Математичне моделювання. Імітаційне моделювання. Статистичне моделювання. Декомпозиція систем та простір станів. Формальні методи побудови моделей. Системна динаміка. Теоретико-множинний підхід моделювання.

Розділ 2. Методи моделювання систем.

Тема 5. Ідентифікація та оцінка якості моделей.

Постановка задачі ідентифікації моделей. Етапи розв'язання задачі ідентифікації. Принципи оцінки якості моделі. Оцінка адекватності моделі. Оцінка сталості моделі. Оцінка чутливості імітаційної моделі.

Тема 6. Принципи побудови моделей та технології моделювання.

Поняття несуперечливості моделі. Основні принципи побудови моделей. Методологія ітераційного багаторівневого моделювання. Основні етапи технології моделювання. Засоби програмної реалізації моделі. Валідація і верифікація моделі.

Тема 7. Математичні схеми моделей.

Поняття типової математичної схеми моделі. Загальний вид математичної моделі системи. Динамічні математичні моделі. Статичні математичні моделі. Простір станів об'єкта моделювання. Типові математичні схеми.

Тема 8. Приклади моделей.

Неперервно-детерміновані моделі. Приклади неперервно-детермінованих моделей. Системи автоматичного управління. Дискретно-детерміновані моделі. Поняття скінченного автомата. Типи скінчених автоматів. Способи задавання скінченного автомата.

Тема 9. Узагальнення моделей.

Дискретно-стохастичні моделі. Неперервно-стохастичні моделі. Поняття системи масового обслуговування. Узагальнені моделі. Поняття агрегативної системи. Приклад агрегативної системи. Математичне моделювання А-схеми.

Тема 10. Імовірнісне моделювання.

Моделювання випадкових процесів. Моделювання незалежних подій. Моделювання складних залежних подій. Генератори псевдовипадкових чисел. Моделювання випадкової величини за нормальним законом. Моделювання випадкової величини за показниковим і рівномірним законами. Моделювання випадкової величини за законом Пуассона.

Тема 11. Моделі випадкових процесів.

Метод Монте-Карло для статистичного моделювання. Моделі теорії черг. Поняття мережі Петрі. Типи мереж Петрі. Ланцюги Маркова для моделювання випадкових процесів.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	усьог о	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Основи моделювання систем.						
Тема 1. Вступ до моделювання систем.	10	2	2			6
Тема 2. Основні поняття моделювання систем.	10	2	2			6
Тема 3. Види моделей.	10	2	2			6
Тема 4. Види моделювання.	10	2	2			6
Разом за розділом 1	40	8	8			24
Розділ 2. Методи моделювання систем.						
Тема 5. Ідентифікація та оцінка якості моделей.	10	2	2			6
Тема 6. Принципи побудови моделей та технології моделювання.	10	2	2			6
Тема 7. Математичні схеми моделей.	10	2	2			6
Тема 8. Приклади моделей.	10	2	2			6
Тема 9. Узагальнення моделей.	10	2	2			6
Тема 10. Імовірнісне моделювання.	10	2	2			6
Тема 11. Моделі випадкових процесів.	10	2	2			6
Підготовка до контрольної роботи	10	2	2			6
Разом за розділом 2	80	16	16			48
Усього годин	120	24	24			72

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ теми	Назва теми	Кількість годин
1	Приклади математичних моделей.	2
2	Імітаційне моделювання.	2
3	Види моделей.	2
4	Формальні методи побудови моделей.	2
5	Ідентифікація моделей.	2
6	Оцінка якості моделі.	2
7	Математичні схеми моделей.	2
8	Приклади моделей інформаційно-управляючих систем.	2
9	Узагальнення моделей.	2
10	Імовірнісне моделювання.	2
11	Програмна реалізація моделей.	4
Усього годин		24

5. Завдання для самостійної роботи

№ теми	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Моделювання як метод наукового пізнання.	6
2	Марківські ланцюги, поглинаючі марківські ланцюги, випадкові процеси. <i>Визначення марківського ланцюга, перехідної матриці.</i>	3,5
	Рівняння Колмогорова для ймовірності станів. <i>Безперервні марківські процеси. Складання рівнянь для вірогідності станів безперервного марківського процесу.</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.</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.</i>	6
9	Моделювання надійності технічних систем. <i>Визначення функції надійності технічної системи.</i>	6
10	Підготовка до контрольної роботи	5
Усього годин		72

6. Індивідуальні завдання

Контрольна робота.

7. Методи навчання

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

8. Методи контролю

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

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

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Екзам ен	Сум а		
Розділи 1 і 2							Контр робота			Разом	
T1-T2	T3-T4	T5-T6	T7	T8	T9	T10	T11				
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 5**).

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**).

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 3**).

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. (7 балів).
- Відповідь з незначними помилками. (5 балів).
- Відповідь, яка містить одну суттєву неточність. (4 бали).
- Відповідь з істотними помилками. (3 бали).
- Відповідь неповна з істотними помилками. (2 бали).
- Відсутність відповіді. (0 балів).

Друге питання.

- Правильна і повна відповідь на друге питання. (7 балів).
- Відповідь з незначними помилками. (5 балів).
- Відповідь, яка містить одну суттєву неточність. (4 бали).
- Відповідь з істотними помилками. (3 бали).
- Відповідь неповна з істотними помилками. (2 бали).
- Відсутність відповіді. (0 балів).

Третє питання.

- Рішення завдання правильне і повне. (6 балів).
- Правильний хід рішення, але рішення не закінчено. Істотні помилки відсутні. (4 бали).
- Рішення містить суттєву помилку і не завершено. (2 бали).
- Рішення відсутнє або запропоновано рішення з декількома істотними помилками. (0 балів).

Критерії підсумкової оцінки знань студентів (екзамен).

1 питання теоретичне.

- Правильна і повна відповідь (14 балів).
- Відповідь не повна, істотних помилок не містить. (11-13 балів).
- Відповідь не повна, містить одну суттєву помилку. (8-10 балів).
- Відповідь не повна і містить дві суттєві помилки. (5-7 балів).
- Відповідь не повна і містить більше двох помилок. (1-4 бали).
- Відповідь відсутня. (0 балів)

2 питання, теоретичне.

- Правильна і повна відповідь (14 балів).
- Відповідь не повна, істотних помилок не містить. (11-13 балів).
- Відповідь не повна, містить одну суттєву помилку. (8-10 балів).
- Відповідь не повна і містить дві суттєві помилки. (5-7 балів).
- Відповідь не повна і містить більше двох помилок. (1-4 бали).
- Відповідь відсутня. (0 балів)

3 питання. Практичне.

- Завдання вирішене правильно і повністю. (12 балів).
- Рішення в основному правильне, містить неточності в поясненнях. (8-11 балів).
- Підхід до вирішення завдання правильний, але є помилкові дії і висновки. (4-7 балів).
- Підхід до вирішення завдання неправильний або має лише фрагменти правильних дій і висновків. (0-3 балів).

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	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.С. Математичне моделювання. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2004.
3. Vossara 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.

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

https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45727/1/Model_system.pdf