

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра теоретичної фізики**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

в.о. декана фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Володимир ЛАЗУР

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

Рівень вищої освіти	<b>другий (магістерський)</b>
Галузь знань	<b>G Інженерія, виробництво та будівництво</b>
Спеціальність	<b>G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка</b>
Освітня програма	<b>Оптоелектронні телекомунікаційні системи</b>
Статус дисципліни	<b>обов'язкова</b>
Мова навчання	<b>українська</b>

**Ужгород – 2025**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Моделювання та оптимізація телекомунікаційних систем**» для здобувачів вищої освіти галузі знань **G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка** освітньої програми **Оптоелектронні телекомунікаційні системи**.

**Розробники:**

Маляр М.М., професор, доктор технічних наук, декан факультету математики та цифрових технологій,

Нодь Є.А., канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри теоретичної фізики

протокол № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Мирослав КАРБОВАНЕЦЬ

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ Василь РУБІШ

© Маляр М.М., Нодь Є. А., 2025 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2025 р.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом
	Денна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 4,5	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 135	1-й
Кількість модулів – 2	Семестр:
Тижневих годин для денної форми навчання : аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 5	1-й
	Лекції:
	28-год.
	Практичні (семінарські):
	– -год.
Вид підсумкового контролю: екзамен	Лабораторні:
	26-год.
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:
	81-год.

## 2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Моделювання та оптимізація телекомунікаційних систем**» є освоєння теоретичних та практичних основ математичного моделювання процесів управління мережами телекомунікацій; процесів відновлення функціонування телекомунікаційної мережі в режимі надзвичайних ситуацій; визначення критеріїв ефективності роботи системи управління; проведення синтезу оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами. Знання характеристик різних моделей та методів оптимізації майбутні фахівці зможуть використовувати у розрахунках параметрів реальних телекомунікаційних систем та мереж при проектуванні.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- ІК1 Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, у професійній діяльності, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій із застосуванням у галузі електроніки та телекомунікацій.
- ЗК2 Здатність до самостійного навчання новим методам дослідження, до зміни наукового і наукововиробничого профілю своєї професійної діяльності.
- ЗК4 Здатність аналізувати, оброблювати, верифікувати, оцінювати повноту інформації в ході професійної діяльності, за необхідності доповнювати й синтезувати відсутню інформацію й працювати в умовах невизначеності.
- ЗК5 Здатність генерувати нові ідеї (креативність), самостійно здобувати за допомогою інформаційних технологій і використовувати в практичній діяльності нові знання і вміння, в тому числі в нових галузях знань.
- ФК1 Здатність застосовувати у професійній діяльності наукові факти, концепції, теорії, принципи та методології наукових досліджень.
- ФК3 Здатність обґрунтовано обирати та ефективно застосовувати математичні методи, комп'ютерні технології моделювання, а також підходи та методи оптимізації телекомунікаційних систем, комплексів, технологій, пристроїв та їх компонентів на всіх етапах їх життєвого циклу.
- ФК5 Здатність розробляти, вдосконалювати та використовувати сучасне програмне, апаратне та програмно-апаратне забезпечення телекомунікаційних пристроїв.
- ФК6 Здатність розв'язувати складні професійні задачі на основі застосування новітніх технологій пошуку, оцінювати,

передавання, приймання і обробки інформації.

- ФК7 Здатність проектувати, налаштовувати та оптимізувати роботу телекомунікаційних мереж та систем.
- ФК8 Володіння сучасними технологіями побудови волоконно-оптичних систем та пристроїв зв'язку. Вміння використовувати сучасний інструментарій розробника, розробляти документацію до технічного проекту та реалізувати положення проекту на практиці.

### 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна «**Моделювання та оптимізація телекомунікаційних систем**» вивчається на 1 курсі і, відповідно до структурно-логічної схеми освітньої програми, опанування дисципліни не потребує попереднього вивчення освітніх компонентів освітньої програми.

### 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «**Оптоелектронні телекомунікаційні системи**», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

<b>Програмні результати навчання</b>	<b>Шифр ПРН</b>
Знання і розуміння основних понять оптоелектроніки та телекомунікацій, теорії передавання та обробки інформації, математичного та комп'ютерного моделювання телекомунікаційних систем.	ПРН1
Локалізувати та оцінювати стан проблемної ситуації на етапах дослідження, проектування, модернізації, впровадження та експлуатації сучасних та перспективних телекомунікаційних комплексів, технологій, пристроїв та їх компонентів, формулювати пропозиції щодо її вирішення з усуванням виявлених недоліків.	ПРН4
Використання сучасних інформаційних технологій; використання програмних засобів телекомунікаційних систем та мереж; застосування інформаційних технологій для розв'язання складних задач телекомунікацій та оптоелектроніки.	ПРН5
Захищати інтелектуальну власність, аналізувати відповідність наукових та дослідно-конструкторських розробок нормам законодавства України та міжнародних стандартів щодо інтелектуальної власності, дотримуватися академічної доброчесності.	ПРН12

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами

освіти після опанування навчальної дисципліни «**Моделювання та оптимізація телекомунікаційних систем**»:

<b>Очікувані результати навчання з дисципліни</b>	<b>Шифр ПРН</b>
Знати основні закономірності функціонування телекомунікаційних мереж. Володіти теоретичними основами теорії оптимізації для дослідження телекомунікаційних систем та мереж. Володіти навичками розробки математичних моделей систем і процесів, які максимально адекватно відображають їх роботу або функціонування в реальних умовах та їх оптимізації.	ПРН1
Вміти застосовувати математичні моделі та алгоритми оптимізації для локалізації проблем, прогнозування ризиків і формулювання технічно обґрунтованих рішень щодо їх усунення.	ПРН4
Набуття студентами навичок роботи з готовим програмним забезпеченням, а також написанням ними програм, які реалізують методи для дослідження телекомунікаційних систем та мереж на мові програмування Python.	ПРН5
Знати основи правового захисту інтелектуальної власності та вимоги академічної доброчесності при створенні моделей і алгоритмів телекомунікаційних систем. Вміти аналізувати відповідність власних розробок нормам законодавства України та міжнародним стандартам, набувати навичок етичного використання даних і програмних рішень у процесі моделювання та оптимізації.	ПРН12

## **5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

**Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:**

- поточний контроль успішності: стандартизовані тести, презентації результатів виконаних завдань та досліджень, захист лабораторних робіт;
- модульний контроль;
- підсумковий контроль;
- екзамен.

### **Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання**

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;

- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання лабораторних робіт;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: поточне оцінювання та виконання модульної контрольної роботи у письмовій формі, сумарний результати яких оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: екзамен. До екзамену допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

1 семестр

### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота						Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	60	100
5	5	5	10	5	10		

### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота					Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	60	100
10	6	7	10	7		

### Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	5	40	5	40
Модульна контрольна робота	1	60	1	60
<b>Разом</b>	<b>6</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>100</b>

### **Критерії оцінювання модульної контрольної роботи**

Виконання модульних контрольних робіт здійснюється в письмовій (або електронній) формі. Модульний контроль знань студентів здійснюється після завершення вивчення навчального матеріалу змістового модуля.

При визначенні оцінки за модуль враховуються результати модульного контрольного оцінювання та поточного контролю під час навчальних занять, результати лабораторних робіт, самостійної та індивідуальної роботи.

На виконання письмового компонента модульного контрольного оцінювання відводиться 2 академічних годин. Здобувач освіти, який не з'явився на модульний контроль, може пройти його додатково у визначений кафедрою термін.

Модульна контрольна робота містить теоретичну і практичну частини, оцінюється у 60 балів. Теоретична частина – 20 балів. Практична частина – 40 балів.

Підсумкова модульна оцінка з навчальної дисципліни визначається як середнє арифметичне результатів усіх модульних контролів та виставляється за 100-бальною шкалою, шкалою ЄКТС та національною шкалою.

Здобувач, який за результатами модульних контролів отримав від 0 до 34 балів, повинен до проведення підсумкового семестрового контролю покращити цю оцінку принаймні до показника не менше 35. Без такого покращення він до семестрового контролю не допускається.

### **Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю**

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «**Моделювання та оптимізація телекомунікаційних систем**» здійснюється у формі екзамену. Екзамен проводиться в усній формі. Оцінка виставляється за 100-бальною шкалою та національною 4-бальною шкалою. Відомість результатів оформлюється за системою ECTS.

Оцінка «відмінно» виставляється, якщо під час проведення екзамену було виявлено:

1. Наявність у студента всебічних, повних, глибоких інтегрованих знань програмового матеріалу, вміння вільно виконувати завдання запропонованого варіанту.
2. Вміння студента в письмовій та усній формі чітко, вичерпно і правильно викласти відповіді на питання запропонованого варіанту.
3. Глибоке розуміння студентом взаємозв'язку головних понять і положень предмета, розуміння значення цих положень і понять для майбутньої професії.
4. Високий рівень підготовленості студента з питань курсу до подальшої роботи над вдосконаленням рівня своєї професійної кваліфікації.

У відповідях студентів не має бути значних помилок. Відмінно виконана робота демонструє наявність у студента творчих здібностей.

Оцінка «добре» виставляється, коли студент відповів на всі запитання,

засвоїв всю навчальну програму курсу. У відповідях, які оцінені на «добре», можлива не більш як одна незначна помилка або виявлено декілька неточностей. Студент спроможний з допомогою літератури ліквідувати всі недоліки у відповідях.

Оцінка «задовільно» виставляється, коли студент дав відповіді на питання всіх завдань, але при цьому можуть проявитися певні прогалини у засвоєнні програми курсу. У відповідях, які оцінені на «задовільно», можуть зустрітися не більше як одна груба помилка або декілька значних та істотних неточностей.

Оцінка «незадовільно» виставляється за відповідь, яка засвідчує про наявність у студента великих та суттєвих прогалин у знаннях основного матеріалу курсу, а у наявних його відповідях є як принципові, так і грубі помилки.

Переведення результатів, отриманих за національною 4-х бальною шкалою у 100-бальну шкалу оцінювання в та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Шкала ЄКТС	Диференційована шкала	Недиференційована шкала	Мін.бал- макс.бал
A	Відмінно	Зараховано	90-100
B	Добре		82-89
C			74-81
D			64-73
E	Задовільно		60-63
F <sub>x</sub> F	Незадовільно	Не зараховано	35-59 0-34

За бажанням студента результуюча підсумкова екзаменаційна оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (0-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни і скласти екзамен.

Результати підсумкового контролю знань заносяться до екзаменаційної відомості.

## 6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 6.1. Зміст навчальної дисципліни

#### СЕМЕСТР 1

#### Модуль 1

Тема 1. *Загальні принципи проектування систем передавання інформації.*

Системи, великі (складні) системи. Загальні відомості про проектування. Схема процесу проектування. Математичне формулювання задач оптимального проектування. Обґрунтування вихідних даних для синтезу. Загальна характеристика задачі векторного синтезу. Особливості постановки задачі при дискретному виборі системи оптимізації параметрів і синтезі структури.

Тема 2. *Математичні основи оптимальних систем.*

Основні поняття і визначення теорії автоматичного керування. Постановка задачі і розгляд деяких критеріїв оптимальності. Функціонали, варіації і їхні властивості. Рівняння Ейлера. Принципи максимуму. Синтез пристрою управління оптимальної за швидкодією двоконтурної ітераційної системи на основі принципу максимуму.

Тема 3. *Математичні методи скалярного синтезу структури і скалярного дискретного вибору системи.*

Загальна характеристика задач і методів скалярного синтезу структури системи. Синтез структури на основі теорії статистичних рішень. Застосування теорії статистичних рішень при неповних апріорних даних. Синтез виявника сигналу. Синтез  $m$ -канальної системи відтворення безперервних повідомлень. Скалярний дискретний вибір. Дискретний вибір системи.

Тема 4. *Методи безумовної мінімізації. Методи для функцій однієї змінної та для функцій багатьох змінних.*

Методи для функцій однієї змінної. Пошук нулів функції однієї змінної. Методи одновимірної мінімізації. Методи для функцій багатьох змінних. Застосування методів із зіставленням значень функції. Метод пошуку багатограннику. Негладка оптимізація.

Тема 5. *Методи безумовної мінімізації першого та другого порядку.*

Методи для гладких функцій багатьох змінних. Модельна схема мінімізації гладких функції. Збіжність модельної схеми. Методи першого порядку. Методи другого порядку. Стратегії для знаконевизначено матриці Гессе. Ньютонівські методи із звичайно-різницевою апроксимацією.

Тема 6. *Загальна характеристика методів векторного синтезу.*

Особливості векторного синтезу в порівнянні зі скалярним. Методи, засновані на введенні результуючого показника якості. Мінімаксні методи. Метод, заснований на введенні показника ефективності. Метод головного

критерію. Метод послідовних поступок. Застосування методів експертних оцінок. Порівняння різних методів векторного синтезу.

## **Модуль 2**

Тема 1. *Екстремальні системи автоматичного управління.*

Екстремальні системи автоматичного управління. Самоналагоджувальні САУ з оптимізацією динамічних режимів. Самоналагоджуванні САУ з оптимізацією статистичних режимів. Методи пошуку екстремуму функції  $J$ . Методи визначення похідних  $J$ . Особливості дослідження самоналагоджувальних систем автоматичного управління. Самоорганізуючі системи автоматичного управління. Поняття про самонавчальні системи автоматичного управління.

Тема 2. *Розробка алгоритмів розрахунку показників ефективності системи управління мережами телекомунікації із застосуванням методу експертних оцінок.*

Методи обробки інформації, одержаної від експертів. Методи перевірки погодженості і вірогідності експертних оцінок. Розрахунок вагових коефіцієнтів при побудові оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами. Основні методи введення результуючого показника якості. Визначення узагальненого критерію оптимальності з урахуванням вагових коефіцієнтів при проектуванні системи управління телекомунікаційними мережами.

Тема 3. *Оптимізація інформаційної моделі ієрархічної системи управління телекомунікаційними мережами.*

Критерії ефективності роботи системи управління. Математичне моделювання процесу управління мережами телекомунікацій. Формулювання обмежень, які накладаються на параметри і характеристики математичної моделі. Класифікація детермінованих задач оптимізації. Класифікація векторних критеріїв оптимальності. Урахування випадкових чинників в задачах оптимізації.

Тема 4. *Математичне моделювання процесу відновлення функціонування телекомунікаційної мережі в режимі надзвичайних ситуацій.*

Синтез оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами за двома показниками якості. Дискретний вибір системи. Синтез оптимальної системи управління із застосуванням умовних критеріїв переваги.

Тема 5. *Імітаційне моделювання складних систем. Випробування і експлуатація.*

Характеристика методів моделювання складних систем. Етапи та принципи імітаційного моделювання. Принципи побудови моделюючих алгоритмів. Моделювання систем та мереж масового обслуговування. Технологічні етапи випробування і експлуатації імітаційних моделей.

## 6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
<b>1-й семестр</b>						
<b>Модуль 1</b>						
Тема 1. Загальні принципи проектування систем передавання інформації.	7	2				5
Тема 2. Математичні основи оптимальних систем.	9	2		2		5
Тема 3. Математичні методи скалярного синтезу структури і скалярного дискретного вибору системи.	9	2		2		5
Тема 4. Методи безумовної мінімізації. Методи для функцій однієї змінної та для функцій багатьох змінних.	12	2		4		6
Тема 5. Методи безумовної мінімізації першого та другого порядку.	10	2		2		6
Тема 6. Загальна характеристика методів векторного синтезу.	22	4		4		14
Разом за модуль 1	69	14		14		41
<b>Модуль 2</b>						
Тема 1. Екстремальні системи автоматичного управління.	24	4		4		16
Тема 2. Розробка алгоритмів розрахунку показників ефективності системи управління мережами телекомунікації із застосуванням методу експертних оцінок.	10	2		2		6
Тема 3. Оптимізація інформаційної моделі ієрархічної системи управління телекомунікаційними мережами.	10	2		2		6
Тема 4. Математичне моделювання процесу відновлення функціонування телекомунікаційної мережі в режимі надзвичайних ситуацій.	12	2		4		6
Тема 5. Імітаційне моделювання складних	8	2				6

систем. Випробування і експлуатація.						
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль 2	66	14		12		40
<b>Разом</b>	<b>135</b>	<b>28</b>		<b>26</b>		<b>81</b>

### 6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Постановка задач оптимізації та їх розв'язування за допомогою Python. Побудова математичної моделі задач оптимізації. Огляд модулю <code>scipy.optimize</code> .	2
2	Знаходження екстремуму функцій. Використання <code>scipy.optimize.minimize</code> з бібліотеки SciPy.	2
3	Методи одновимірної мінімізації нульового порядку. Метод дихотомії. Метод золотого перерізу. Метод квадратичної апроксимації. Метод Фібоначчі. Метод порозрядного пошуку. Використання <code>scipy.optimize.minimize_scalar</code> з бібліотеки SciPy.	4
4	Методи одновимірної мінімізації першого і другого порядку. Метод середньої точки. Метод хорд. Метод Ньютона. Порівняльний аналіз методів одновимірної мінімізації унімодалних функцій.	4
5	Методи безумовної багатовимірної мінімізації. Метод покоординатного спуску. Метод конфігурацій (Хука-Дживса). Метод покоординатного спуску і метод Хука-Дживса.	4
6	Гradientні методи безумовної багатовимірної мінімізації.	2
7	Розв'язування задач умовної мінімізації. Метод штрафних функцій. Метод бар'єрних функцій.	2
8	Розв'язування задач лінійного програмування. Використання <code>scipy.optimize.linprog</code> з бібліотеки SciPy для розв'язування задач лінійного програмування.	2
9	Математичне моделювання процесу управління мережами телекомунікацій. Розрахунки показників ефективності системи управління мережами телекомунікації із застосуванням методу експертних оцінок.	4
<b>Разом</b>		<b>26</b>

#### 6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальні принципи проектування систем передавання інформації (СПІ).	5
2	Математичні основи оптимальних систем.	5
3	Математичні методи скалярного синтезу структури і скалярного дискретного вибору системи.	5
4	Методи безумовної мінімізації. Методи для функцій однієї змінної та для функцій багатьох змінних.	6
5	Методи безумовної мінімізації першого та другого порядку.	6
6	Загальна характеристика методів векторного синтезу.	14
7	Екстремальні системи автоматичного управління.	16
8	Розробка алгоритмів розрахунку показників ефективності системи управління мережами телекомунікації із застосуванням методу експертних оцінок.	6
9	Оптимізація інформаційної моделі ієрархічної системи управління телекомунікаційними мережами.	6
10	Математичне моделювання процесу відновлення функціонування телекомунікаційної мережі в режимі надзвичайних ситуацій.	6
11	Імітаційне моделювання складних систем. Випробування і експлуатація.	6
<b>Разом</b>		<b>81</b>

## **7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА**

Технічні засоби та обладнання: мультимедійний проектор, комп'ютер.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки, планшети, веб-камери.

Програмне забезпечення: MS Power Point, MS Excel, Python, математичні пакети прикладних програм Mathcad, Matlab.

## **8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

### **Основна література**

1. Колтун Ю.М., Скорик Ю.В. Інформаційні мережі та технології. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 200 с.
2. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів у системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусев, О.В. Герасіна. – Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро, НТУ «ДП», 2020. – 536 с.
3. Garcia-Diaz Alberto. Fundamentals of Network Analysis and Flow Optimization / Alberto Garcia-Diaz, Don T. Phillips. – Ukiah, California: Virtualbookworm.com Publishing, 2022. – 394 p.
4. Тарбаєв С. І., Домрачева К. О., Заїка В. Ф., Трембовецький М. П. Проектування інфокомунікаційних мереж. Навчальний посібник. – Київ: ННІТІ ДУТ, 2019. – 186 с.
5. Пустовойтов П.С. Сучасні програмні засоби моделювання та оптимізації мереж зв'язку. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 119 с.
6. Пустовойтов П.С. Математичні моделі мереж зв'язку. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 105 с.

### **Допоміжна література**

1. Кунах Н.І. Застосування методів оптимізації в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами / Н.І. Кунах, О.І. Чумак, Н.М. Леєсна, О.Л. Недашківський // Вісник, 2002. – №2. – с. 119-121.
2. Толубко В.Б. Методи оптимізації: підручник для студентів вищих навч. закладів за напрямом «Телекомунікації» / В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман. – ДУТ, 2016. – 442 с.
3. Павленко П. М. Основи математичного моделювання систем і процесів : навч. посіб. / П. М. Павленко. – К. : НАУ, 2014. – 274 с.
4. Нефьодов Ю.М. Методи оптимізації в прикладах і задачах: навчальний посібник / Ю.М. Нефьодов, Т.Ю. Балицька – К.: Кондор, 2011.– 324 с.
5. Дубовой В.М. Моделювання та оптимізація систем : підручник / В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В. Усов. – Вінниця : ПП ТД«Едельвейс», 2017 – 804 с.
6. Ніколюк П.К. Н Моделювання систем: навч. посібн. – Вінниця: ДонНУ, 2023. – 228 с.
7. Python 3.11.4 documentation. URL: <https://docs.python.org/3/>.
8. Optimization and root finding (scipy.optimize). URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.html>