

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
економічної кібернетики і системного аналізу
Протокол № 1 від «22» серпня 2023 р.

ПОГОДЖЕНО
Проректор з навчально-методичної роботи

Каріна НЕМАШКАЛО



МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ
робоча програма навчальної дисципліни (РПНД)

Галузь знань	12 «Інформаційні технології»
Спеціальність	124 «Системний аналіз»
Освітній рівень	перший (бакалаврський)
Освітня програма	«Управління складними системами»

Статус дисципліни	обов'язкова
Мова викладня, навчання та оцінювання	українська

Розробник:
к.е.н., доцент

Світлана ПРОКОПОВИЧ

Завідувач кафедри
економічної кібернетики
і системного аналізу

Лідія ГУР'ЯНОВА

Гарант програми

Оксана ПАНАСЕНКО

Харків
2024

ВСТУП

Програма вивчення обов'язкової навчальної дисципліни «Методи оптимізації та дослідження операцій» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 124 «Системний аналіз» за освітньою програмою «Управління складними системами».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є методологія та інструментарій побудови і розв'язування детермінованих і стохастичних оптимізаційних задач та задач дослідження операцій.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Методи оптимізації та дослідження операцій» є формування системи знань з методології та інструментарію побудови і використання оптимізаційних методів і моделей в реальних умовах.

Основним завданням вивчення дисципліни «Методи оптимізації та дослідження операцій» є оволодіння практичними навичками постановки задач, побудови оптимізаційних моделей, прийняття рішень у процесі планування діяльності в умовах обмеженості ресурсів за допомогою використання методів та алгоритмів лінійної і нелінійної оптимізації та дослідження операцій.

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна визначено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна

Результати навчання	Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач вищої освіти
РН6	КФ5
РН7	КЗ2, КФ5
РН15	КФ2

РН6. Знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів.

РН7. Знати основи теорії оптимізації, оптимального керування, теорії прийняття рішень, вміти застосовувати їх на практиці для розв'язування прикладних задач управління і проектування складних систем.

РН15. Розуміти українську та іноземну мови на рівні, достатньому для обробки фахових інформаційно-літературних джерел, професійного усного і письмового спілкування, написання текстів за фаховою тематикою.

КЗ 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

КФ 2. Здатність формалізувати проблеми, описані природною мовою, у тому числі за допомогою математичних методів, застосовувати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів.

КФ 5. Здатність формулювати задачі оптимізації при проектуванні систем управління та прийняття рішень, а саме: математичні моделі, критерії оптимальності, обмеження, цілі управління; обирати раціональні методи та алгоритми розв'язання задач оптимізації та оптимального керування.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Задачі лінійного програмування

Тема 1. Дослідження операцій як науковий підхід до аналізу об'єктів і процесів.

1.1. Історія становлення дослідження операцій як науки. Об'єкт, предмет, мета і завдання дослідження операцій. Розділи дослідження операцій.

Історія становлення дослідження операцій як науки. Зв'язок дослідження операцій і теорії систем. Об'єкт, предмет, мета і завдання дослідження операцій. Розділи дослідження операцій.

1.2. Прямі та обернені задачі дослідження операцій.

Ефективність операції. Прямі задачі. Обернені задачі. Класифікація задач дослідження операцій за рівнем інформації про ситуацію. Детермінований рівень. Стохастичний рівень. Невизначений рівень.

1.3. Основні поняття дослідження операцій.

Операція. Приклади операцій. Структурна схема операції. Модель. Класи моделей, що застосовують у дослідженні операцій.

1.4. Етапи операційного дослідження.

Основні етапи операційного дослідження.

Тема 2. Оптимізаційні математичні моделі.

2.1. Основні поняття і класифікація задач оптимізації.

Основні поняття оптимізаційного моделювання. Класифікація задач оптимізації. Окремі класи задач математичного програмування.

2.2. Основні види оптимізаційних задач.

Основні види оптимізаційних задач. Загальна постановка задачі оптимізації. Задача оптимального використання сировини. Задача складання суміші (раціону). Задача оптимального завантаження устаткування. Задача на розкрій.

Тема 3. Задача лінійного програмування та методи її розв'язування

3.1. Постановка задачі лінійного програмування. Основні поняття.

Поняття лінійного програмування. Загальна, стандартна і канонічна задачі лінійного програмування (ЗЛП). Еквівалентність форм ЗЛП. Приведення задач лінійного програмування до стандартної форми. Додаткові змінні.

3.2. Властивості основної задачі лінійного програмування.

Поняття опорного і оптимального плану, базису, базисного рішення, виродженого і неvirодженого плану. Теореми про множину планів основної ЗЛП. Зв'язок властивостей ЗЛП з властивостями опуклих множин.

3.3. Графічний метод рішення задач лінійного програмування.

Графічний метод рішення ЗЛП. Поняття багатогранника і багатокутника рішень, градієнту, лінії рівня. Приклади областей допустимих рішень. Алгоритм пошуку оптимального плану ЗЛП на основі її геометричної інтерпретації.

3.4. Симплексний метод.

Теореми про оптимальність опорного плану. Загальне поняття симплекс-методу і його кроки. Симплекс-алгоритм і його етапи. Симплексна таблиця.

3.5. Метод штучного базису.

Розширена задача. Штучні змінні. Штучний план. Теорема про оптимальність плану розширеної задачі. Алгоритм методу штучного базису.

Тема 4. Теорія двоїстості та аналіз лінійних моделей оптимізаційних задач

4.1. Постановка двоїстої задачі.

Основні поняття: двоїста задача, двоїста пара. Правила побудови двоїстої задачі. Несиметричні і симетричні двоїсті задачі. Властивості пари двоїстих задач. Теореми двоїстості. Економічна інтерпретація двоїстих задач. Приклад пошуку оптимального плану двоїстої задачі на основі рішення прямої задачі.

4.2. Аналіз стійкості двоїстих оцінок.

Аналіз стійкості двоїстих оцінок.

4.3. Двоїстий симплекс-метод.

Поняття псевдоплану прямої задачі. Теореми (критерії оптимальності псевдоплану). Алгоритм двоїстого симплекс-метода.

Змістовий модуль 2. Окремі лінійні та нелінійні оптимізаційні моделі

Тема 5. Транспортна задача. Постановка, методи розв'язання та аналізу

5.1. Математична модель транспортної задачі.

Постановка транспортної задачі (ТЗ) та її математична модель. Відкрита і закрита модель ТЗ. Перетворення відкритої моделі в закриту. Опорний план транспортної задачі.

5.2. Методи побудови первісних опорних планів. Метод потенціалів.

Метод північно-західного кута. Метод мінімальної вартості. Метод подвійної переваги. Умова виродженості плану транспортної задачі.

Сутність методу потенціалів. Умова потенціальності. Критерій оптимальності рішення. Алгоритм рішення транспортної задачі методом потенціалів.

5.3. Модифікації транспортної задачі.

Пошук оптимального плану ТЗ з ускладненнями у постановці. Пошук рішення деяких економічних задач, що зводяться до транспортної.

Тема 6. Цілочислове програмування

6.1. Постановка задачі цілочислового програмування.

Постановка задачі цілочислового програмування. Економічна і геометрична інтерпретація задачі цілочислового програмування. Приклади економічних задач цілочислового програмування.

6.2. Метод рішення задач цілочислового програмування.

Метод Гоморі. Складання додаткових обмежень та їх геометричний зміст. Недоліки методу Гоморі.

Тема 7. Задачі параметричного програмування

7.1. Постановка задачі параметричного програмування.

Математична постановка задачі параметричного програмування. Економічна і геометрична інтерпретації задачі параметричного програмування.

7.2. *Методи рішення задач параметричного програмування.*

Методи рішення задач параметричного програмування. Рішення задачі, цільова функція якої має параметр. Рішення задачі, праві частини якої мають параметр.

Тема 8. Нелінійне програмування

8.1. *Постановка задачі нелінійного програмування.*

Постановка задачі нелінійного програмування. Економічна та геометрична інтерпретація задач нелінійного програмування.

8.2. *Методи рішення задач нелінійного програмування.*

Безумовна оптимізація. Чисельні методи оптимізації. Задачі з обмеженням на змінні. Метод множників Лагранжа.

8.3. *Задачі опуклого програмування.*

Постановка задачі опуклого програмування. Приклади задач опуклого програмування. Квадратичне програмування. Теорема Куна-Такера. Квадратична форма. Алгоритм пошуку рішення задачі квадратичного програмування.

8.4. *Градiєнтні методи пошуку рішень.*

Градiєнтні методи пошуку рішень задач нелінійного програмування: Франка-Вульфа, штрафних функцій, Ерроу-Гурвица.

8.5. *Задачі сепарабельного програмування.*

Постановка задачі сепарабельного програмування. Метод кусочно-лінійної апроксимації.

Перелік практичних занять наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Перелік практичних занять

Назва теми та/або завдання	Зміст
Тема 2.	Вирішення практичних завдань щодо математичної постановки оптимізаційних задач
Тема 3.	Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану ЗЛП за допомогою графічного методу Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану ЗЛП за допомогою симплекс-методу
Тема 4.	Вирішення практичних завдань щодо визначення двоїстих оцінок, розв'язання ЗЛП двоїстим симплекс-методом
Тема 5.	Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану перевезень, рішення ТЗ з ускладненою постановкою
Тема 6.	Вирішення практичних завдань щодо математичної постановки та пошуку оптимального плану задач цілочислового програмування
Тема 8.	Вирішення практичних завдань щодо математичної постановки та пошуку оптимального плану окремих задач нелінійного програмування

Перелік лабораторних занять наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Перелік лабораторних занять

Назва теми та/або завдання	Зміст
Тема 3.	Виконання лабораторної роботи щодо розв'язання ЗЛП графічним методом у додатку GLP. Пошук оптимального плану виробництва
Тема 4.	Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану прямої та двоїстої ЗЛП Пошук оптимального рішення двоїстої задачі, та дослідження стійкості отриманого рішення
Тема 5.	Пошук оптимального плану перевезень. Розв'язання транспортних задач з ускладненою постановкою.
Тема 6.	Пошук оптимального плану капіталовкладень для розвитку підприємств галузі
Тема 8.	Пошук оптимального плану та аналіз стійкості розв'язку окремих задач нелінійного програмування

Перелік самостійної роботи за навчальною дисципліною наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Перелік самостійної роботи

Назва теми та / або завдання	Зміст
Тема 1.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою.
Тема 2.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо математичної постановки оптимізаційних задач
Тема 3.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану ЗЛП за допомогою графічного методу. Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану ЗЛП за допомогою симплекс-методу
Тема 4.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану прямої та двоїстої ЗЛП. Пошук оптимального рішення двоїстої задачі, та дослідження стійкості отриманого рішення
Тема 5.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану перевезень, рішення ТЗ з ускладненою постановкою

Тема 6.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо математичної постановки та пошуку оптимального плану задач цілочислового програмування
Тема 7.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою.
Тема 8.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вирішення практичних завдань щодо пошуку оптимального плану окремих задач нелінійного програмування

МЕТОДИ НАВЧАННЯ

У процесі викладання навчальної дисципліни для активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів передбачене застосування як активних, так і інтерактивних навчальних технологій, серед яких: лекції проблемного характеру, міні-лекції, робота в малих групах, презентації, банки візуального супроводу. Розділ форм та методів активізації процесу навчання за темами навчальної дисципліни наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Розподіл форм та методів активізації процесу навчання за темами навчальної дисципліни

Тема	Практичне застосування навчальних технологій
Тема 1.	Банки візуального супроводу
Тема 2.	Робота в малих групах, презентація результатів, банки візуального супроводу
Тема 3.	Робота в малих групах, презентація результатів, банки візуального супроводу
Тема 4.	Міні-лекція з питання «Пошук рішення оптимального плану двоїстої задачі за результатом рішення прямої задачі», банки візуального супроводу
Тема 5.	Робота в малих групах, презентація результатів, банки візуального супроводу
Тема 6.	Робота в малих групах, презентація результатів, банки візуального супроводу
Тема 7.	Банки візуального супроводу
Тема 8.	Робота в малих групах, презентація результатів, банки візуального супроводу

Основні відмінності активних та інтерактивних методів навчання від традиційних визначаються не тільки методикою і технікою викладання, але й високою ефективністю навчального процесу, який виявляється у: високій мотивації студентів; закріпленні теоретичних знань на практиці; підвищенні самосвідомості студентів; формуванні здатності приймати самостійні рішення; формуванні здатності до ухвалення колективних рішень; формуванні здатності до соціальної інтеграції; набуття навичок вирішення конфліктів; розвитку здатності до знаходження компромісів.

Міні-лекції передбачають викладення навчального матеріалу за короткий проміжок часу й характеризуються значною ємністю, складністю логічних побудов, образів, доказів та узагальнень. Вони проводяться, як правило, як частина заняття-дослідження. Міні-лекції відрізняються від повноформатних

лекцій значно меншою тривалістю. Зазвичай міні-лекції тривають не більше 10 – 15 хвилин і використовуються для того, щоб стисло донести нову інформацію до всіх студентів. Міні-лекції часто застосовуються як частини цілісної теми, яку бажано викладати повноформатною лекцією, щоб не втомлювати аудиторію. Тоді інформація надається по черзі кількома окремими сегментами, між якими застосовуються інші форми й методи навчання.

Робота в малих групах дає змогу структурувати практичні заняття за формою і змістом, створює можливості для участі кожного студента в роботі за темою заняття, забезпечує формування особистісних якостей та досвіду соціального спілкування.

Презентації – виступи перед аудиторією, що використовуються для представлення певних досягнень, результатів роботи групи звіту про виконання індивідуальних завдань, проектних робіт. Презентації можуть бути як індивідуальними, наприклад виступ одного студента, так і колективними, тобто виступи двох та більше студентів.

Банки візуального супроводу сприяють активізації процесу навчання за темами навчальної дисципліни за допомогою наочності.

ФОРМИ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ

Університет використовує накопичувальну (100-бальну) систему оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти.

Поточний контроль здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, практичних, лабораторних занять і оцінюється сумою набраних балів (максимальна сума – 60 балів; мінімальна сума, що дозволяє студенту складати іспит, – 35 балів);

Підсумковий контроль включає семестровий контроль та атестацію здобувача вищої освіти.

Семестровий контроль проводиться у формі семестрового екзамену (іспиту), складання якого здійснюється під час екзаменаційної сесії.

Максимальна сума балів, яку може отримати здобувач вищої освіти під час екзамену (іспиту) – 40 балів. Мінімальна сума, за якою екзамен (іспит) вважається складеним – 25 балів.

Поточний контроль здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, практичних, лабораторних занять та проводиться в таких формах:

захист індивідуального розрахункового завдання (4 бали);

захист індивідуальних лабораторних завдань (24 бали);

проведення поточного тестування (18 балів);

проведення модульного контролю (14 балів).

Більш детальну інформацію щодо системи оцінювання наведено в робочому плані (технологічній карті) з навчальної дисципліни.

Приклад екзаменаційного білету

Екзаменаційний білет №1

Завдання 1. Стереотипне

Мета - оцінка когнітивних знань студента з дисципліни, що дозволяє визначити рівень володіння навчальним матеріалом.

30 тестових запитань одиничного і множинного вибору, які знаходяться в кореновому каталозі дисципліни «Методи оптимізації та дослідження операцій» в розділі «Екзамен» на сайті системи дистанційного навчання <https://pns.hneu.edu.ua/>

Завдання 2. Евристичне

Мета – оцінка креативності мислення студента, його здатності інтегрувати отримані знання для вибору і застосування оптимізаційних методів і моделей для оцінки, аналізу і планування соціально-економічних процесів.

Фірма спеціалізується на виробництві меблів для житлових приміщень. Вона може виробляти два типи меблевих гарнітурів «Оксана» і «Стелла», що вимагає різних витрат праці на кожній стадії виробництва. Вихідні дані наведені нижче.

Вихідні дані

Виробнича ділянка	Обсяги робіт (чол-год) на 1 гарнітур типу:		Запас часу (чол-год)
	«Оксана»	«Стелла»	
Лісопильня	3	2	190
Збиральний цех	2	3	160
Оздоблювальний цех	0,5	0,1	100
Дохід від реалізації 1 гарнітура (грн)	8000	9000	
Собівартість виробництва 1 гарнітура (грн.)	7250	8120	

Потрібно скласти тижневий план виробництва меблевих гарнітурів з метою максимізації сумарного прибутку, а також скласти двоїсту задачу і визначити її оптимальний план.

Зробіть економічні висновки.

Завдання 3. Діагностичне

Мета – оцінка здатності студента застосовувати отримані знання на практиці для вирішення широкого класу задач управління різними соціально - економічними об'єктами (процесами)

Знайдіть план перевезень, який забезпечує мінімальну загальну вартість перевезення. Вихідні дані наведені в таблиці.

Вихідні дані

Пункти відправлення	Пункти призначення			Запаси
	В ₁	В ₂	В ₃	
А ₁	1	3	4	40
А ₂	2	1	8	25
А ₃	8	3	6	30
А ₄	4	2	1	25
Потреби	45	50	35	

Критерії оцінювання

Перше завдання (мах 15 балів) спрямоване на оцінку когнітивних знань студента за дисципліною, що дозволяє визначити рівень володіння навчальним матеріалом, для цього використовується наступний критерій:

$$\text{Кількість балів} = \frac{\text{відсоток правильних відповідей} \cdot 15}{100\%}$$

Друге завдання (мах 15 балів) спрямоване на виявлення креативності мислення студента, його здібності інтегрувати отримані знання для вибору і застосування оптимізаційних методів і моделей з метою оцінки, аналізу і планування соціально-економічних процесів. При оцінці даного завдання використовуються наступні критерії:

15 балів – за повністю вірно розв’язане завдання, з повним обґрунтуванням отриманих висновків і поданням пояснень студента;

12 – 14 балів – при наявності вірно розв’язаного завдання, з недосить повним обґрунтуванням отриманих висновків і поданням пояснень студента;

9 – 11 балів – при наявності правильного рішення, але при відсутності його обґрунтування і пояснень;

5 – 8 балів – якщо завдання вирішене частково, тобто відсутні остаточні висновки або в ході рішення була допущена технічна помилка;

1 – 4 балів – у випадку якщо студент продемонстрував лише знання загального ходу рішення або основних співвідношень запропонованої моделі;

0 балів – якщо завдання не розв’язане.

Третє завдання (мах 10 балів) дає можливість визначити здатність студента застосовувати отримані знання на практиці для вирішення широкого класу задач управління різними соціально – економічними об’єктами (процесами). При оцінці даного завдання використовуються наступні критерії:

10 балів студент одержує за повністю чітко і логічно послідовно розв’язане завдання, з повним обґрунтуванням обраного ходу розв’язання й отриманих висновків, змістовною економічною інтерпретацією отриманих результатів і сформованих управлінських рішень.

8 – 9 балів – студент одержує за повністю логічно послідовно розв’язане завдання, з недосить повним обґрунтуванням обраного ходу розв’язання й отриманих висновків;

6 – 7 балів – якщо завдання розв’язане не повністю, не повне економічне обґрунтування, не повні висновки;

4 – 5 балів – якщо дослідження запропонованої моделі не було повним та відсутнє обґрунтування або не зроблені чіткі логічні висновки;

3 бали – якщо в ході дослідження була допущена логічна помилка, що вплинула на хід розв’язання й остаточні висновки;

1 – 2 бали – якщо студент зміг тільки запропонувати деякий шлях розв’язання, але не зміг провести дослідження моделі або тільки почав таке

дослідження;

0 балів – у випадку, якщо завдання повністю не розв’язано.

Округлення отриманих балів здійснюється за загальними правилами округлення.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Григорків В.С. Оптимізаційні методи та моделі : підручник / В.С. Григорків, М.В. Григорків, О.І. Ярошенко. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2022. – 440 с.

2. Дослідження операцій в економіці : підручник / О. І. Черняк та ін. ; ред. О. І. Черняк. Миколаїв : МНАУ, 2020. 398 с.

3. Дослідження операцій та методи оптимізації. Методичні рекомендації до практичних завдань для студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського) рівня [Електронний ресурс] / укл. С.В. Прокопович, О.В. Панасенко, Л.О. Чаговець; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. - Електрон. текстові дан. (373 КБ). - Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. - 63 с. - Загол. з титул. екрану. Режим доступу : <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/21045>

4. Дослідження операцій: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.030502 «Економічна кібернетика» всіх форм навчання / Т. С. Клебанова, О. Ю. Полякова, Н. Л. Чернова, Л. О. Чаговець, О. В. Панасенко. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. – 192 с.

5. Малкіна В. М. Дослідження операцій: навчальний посібник / В. М. Малкіна, О. Г. Зінов'єва, М.Ю. Мірошніченко. – Мелітополь: Люкс, 2020. – 201 с.

6. Малярець, Л. М. Дослідження операцій та методи оптимізації [Електронний ресурс] : практикум : у 2-х ч. Ч. 2 / Л. М. Малярець, І. Л. Лебедева, Л. О. Норік ; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. - Електрон. текстові дан. (2,69 МБ). - Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. - 160 с. : іл. - Загол. з титул. екрану. Режим доступу : <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/22002>

7. Методи оптимізації та дослідження операцій [Текст] : навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.

8. Методи оптимізації та дослідження операцій. Методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 124 "Системний аналіз" першого (бакалаврського) рівня [Електронний ресурс] / уклад. С. В. Прокопович, Л. О. Чаговець, Н. Л. Чернова; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. - Електрон. текстові дан. (6,71 МБ). - Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. - 64 с. - Загол. з титул. екрану. Режим доступу : <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/26812>

9. Методи оптимізації та дослідження операцій: навчальний посібник / О. О. Ємець. - Полтава : ПУЕТ, 2019. - Ч. 2. - 139 с. – [Електронний ресурс] . – Режим доступу : <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/8599> .

Додаткова

10. Оптимізаційні методи та моделі : навчальний посібник / Н. В. Буреннікова, О. В. Зелінська, І. М. Ушкаленко, Ю. Ю. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2019. - 122 с.

11. Дослідження операцій. Конспект лекцій / Уклад.: О.І. Лисенко, І.В. Алексеєва, – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 196 с.

12. Кутова О. Загальна постановка завдань оптимізації технологічних параметрів у фармацевтичних дослідженнях / Кутова О., Сагайдак-Нікітюк Р., Кутовий Д. // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2021. №62-1. – С. 37-40.

13. Математичне моделювання процесів і систем [Електронний ресурс] : Навч. посіб. / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 351 с. Математичне програмування : метод. реком. з вивч. дисципліни та виконання контрольних робіт здобувачами вищої освіти / О. В. Шебаніна та ін. Миколаїв : МНАУ, 2020. 132 с.

14. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрик та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.

15. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник. / Л.О. Волонтир, Н.А. Потапова, І.М. Ушкаленко, І.А. Чіков., Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 404 с.

16. Осипенко С.М. Обґрунтування цін на продукцію підприємства на основі оптимізаційних моделей / Осипенко С.М., Романчик Т. В., Писаревський С. В. // *Бізнес Інформ*. 2020. №6 (509). – С. 145-151.

17. Fomenko D., Kostenko V. Optimization increase of the rotors in gas pumping machines with the simplex method // *The Scientific Heritage*. 2019. №39-1 (39). – С. 58-62.

18. *Modern Optimization Methods for Science, Engineering and Technology/ Edited by G R Sinha Myanmar Institute of Information Technology Mandalay, Myanmar/ IOP Publishing, Bristol, UK, 2020. – 433 p.*

Інформаційні ресурси

19. Прокопович С.В. Навчальна дисципліна «Методи оптимізації та дослідження операцій» [Електронний ресурс] / С. В. Прокопович. – Режим доступу : <https://pns.hneu.edu.ua/course/view.php?id=7020> .

20. *ACSM 2020 Tutorial: Optimization Methods for Machine Learning*. - <http://www.acsu.buffalo.edu/~haimonti/tutorial.html>