

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра технічного сервісу

«Затверджую»

**Завідувач кафедри
«Технічний сервіс»
«__»_____2019 р.**

_____ **(В.Б.Тарельник)**

Оптимізація комплексів та систем машин

**Спеціальність: для аспірантів спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»**

Факультет: *Інженерно-технологічний факультет*

2019 – 2020 навчальний рік

Робоча програма з дисципліни «*Оптимізація комплексів та систем машин*»
для аспірантів спеціальності *133 «Галузеве машинобудування»*.

Розробник: Коноплянченко Є.В., к.т.н., доцент

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри *технічного сервісу*.

Протокол від «27» травня 2019 року № 16

Завідувач кафедри _____ (Тарельник В.Б.)

Погоджено:

Декан факультету _____ (М.Я. Довжик)
на якому викладається дисципліна

Декан факультету _____ (М.Я. Довжик)
до якого належить кафедра

Методист навчального відділу _____ (_____)

Зареєстровано в електронній базі: дата: _____ 201__ р.

© СНАУ, 2019 рік

© Коноплянченко Є.В., 2019 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»	Вибіркова
Модулів – 2	Напрямок підготовки: Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»	Рік підготовки: 2019-2020
Змістових модулів: 2		Курс 2
Індивідуальне науково-дослідне завдання:		Семестр
Загальна кількість годин - 120		4-й
		Лекції
		44 год.
		Практичні
	44 год.	
	Лабораторні	
	-	
	Самостійна робота	
	32 год.	
	Індивідуальні завдання:	
	-	
	Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 6,77 самостійної роботи студента – 2,46	Вид контролю: залік
	Освітньо-науковий рівень доктор філософії	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):

для денної форми навчання - 73/27 (88/32)

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: вивчення науково-виробничих основ раціонального інженерного забезпечення, технологій, а також ефективного використання техніки, її працездатності, з метою одержання запланованих результатів з урахуванням технологічних обмежень практичної реалізації в умов конкретного підприємства.

Завдання: отримання аспірантами, практичних навичок та теоретичних знань у питаннях: аналізу експлуатаційних витрат різноманітних агрегатів у сучасних умовах господарювання; методах обґрунтування технологічних режимів та показників якості роботи комплексів машин та машинного парку; раціонального комплектування машинних агрегатів, з метою підвищення продуктивності та зменшення експлуатаційних витрат; обробки та критичного аналізу експлуатаційних та техніко-економічних показників використання техніки.

Згідно затвердженої освітньо-наукової програми та навчального плану підготовки докторів філософії галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» вивчення дисципліни «Оптимізація комплексів та систем машин» забезпечує:

Компетентності:

СК3. Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати природничі і високотехнологічні процеси при розв'язанні інженерних задач та проведенні досліджень.

СК5. Здатність аналізувати, систематизувати та узагальнювати результати наукових досліджень, порівнювати їх з результатами інших вітчизняних і зарубіжних науковців зі спеціальності «Галузеве машинобудування», робити обґрунтовані та достовірні висновки, створювати бази даних і використовувати інтернет-ресурси.

СК7. Здатність виявляти та розуміти причинно-наслідкові зв'язки між досліджуваними процесами та вихідними характеристиками об'єкту дослідження, ідентифікувати та оцінювати фактори впливу

Результати навчання:

ПРН 2. Володіти методологічним інструментарієм проведення наукових досліджень у галузі «Механічна інженерія» зі спеціальності «Галузеве машинобудування», керуючись принципами академічної доброчесності та наукової етики.

ПРН 3. Генерувати власні ідеї, приймати обґрунтовані рішення, розуміти та визначати мету власного наукового дослідження.

ПРН 4. Володіти методами статистичного оброблення отриманих результатів наукових досліджень з використанням сучасних інформаційних технологій.

ПРН 7. Кваліфіковано відображати результати наукових досліджень у наукових статтях, опублікованих як у фахових вітчизняних виданнях, так і у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз.

ПРН 8. Уміти проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових наукових положень та ідей щодо галузевого машинобудування.

ПРН 9. Бути здатним приймати обґрунтовані рішення, саморозвиватися і самовдосконалюватися, нести відповідальність за достовірність і новизну власних наукових досліджень та прийняття рішень, вміти мотивувати співробітників рухатися до спільної мети.

ПРН 12. Проводити професійну інтерпретацію отриманих результатів досліджень, в тому числі з використанням сучасного програмного забезпечення.

ПРН 17. Ініціювати, організовувати та проводити комплексні дослідження з галузевого машинобудування, які приводять до отримання нових знань.

ПРН 18. Планувати створення інноваційних об'єктів та управляти ними протягом їх життєвого циклу.

ПРН 19. Розуміти шляхи впровадження результатів наукових досліджень з галузевого машинобудування у виробництво, навчальний процес та науку.

ПРН 21. Презентувати результати досліджень у вигляді дисертаційної роботи, захищати результати проведених досліджень

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. *Формалізація процесу синтезу комплексів та систем машин.*

Тема 1. *Основні поняття теорії моделювання.*

Постановка задачі моделювання систем. Види моделей. Характеристики моделей. Систематичний підхід до моделювання. Моделі в умовах невизначеності. Структурні моделі. Поняття та способи структурування об'єктів моделювання. Графи як узагальнення структурних моделей. Способи формалізації структурних моделей. Формальні перетворення структурних моделей. Поточкові графи. Функціональні моделі. Моделі статички. Моделі динаміки. Моделі обслуговування. Алгоритмічні моделі. Агрегатні та комплексні функціональні моделі. Модель, як складова частина оптимізації. Моделювання в задачах прийняття оптимальних рішень.

Тема 2. *Формалізація задач оптимізації робочих процесів в техніці.*

Побудова задачі оптимізації. Математичне формулювання задачі оптимізації. Введення у теорію помилок. Аналіз помилок у алгоритмах. Безумовна оптимізація. Одномірний випадок. Багатомірний випадок. Оптимізація в умовах лінійних обмежень. Розробка моделей для оптимального прогнозування в техніці. Класифікація задач і методів прогнозування. Прогнозування тенденцій розвитку та удосконалення об'єкту досліджень по аналізу функціональних критеріїв подібності. Оцінка техніко-економічної ефективності застосування методів моделювання при дослідженні машин.

Тема 3. *Основні поняття та принципи структурно-параметричного синтезу технологічних комплексів та технічних систем.*

Формалізація завдань і методів проектування. Структуризація процесів проектування технічних систем. Призначення та порядок побудови графа цілей і задач. Декомпозиція загальної задачі. Виділення основних (центральных

підсистем). Призначення та порядок побудови параметричних схем технологічних процесів. Порівняльна характеристика параметричних та інших структурних схем. Вибір цільової функції процесу. Методи лінійного та нелінійного програмування. Структурно-параметричний синтез систем. Постановка завдання синтезу. Математична модель однокритеріального завдання синтезу. Структурно-топологічний синтез систем. Математичне моделювання задачі синтезу. Перехід до задачі динамічного програмування. Обчислювальні алгоритми синтезу. Загальна методика отримання кількісних оцінок при аналізі та синтезі інженерних рішень.

Змістовний модуль 2. Оптимізації комплексів машин і структури машинно-тракторного парку

Тема 4. Наукові основи оптимізації машинно-тракторного парку.

Теоретичний метод визначення складу машино-тракторного парку (МТП). Основні поняття оптимізації МТП та методи моделювання машиновикористання в рослинництві. Математична модель оптимального використання техніки за критерієм мінімальних затрат на виконання механізованих робіт. Моделювання системи технічного обслуговування засобів механізації. Методика обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин.

Тема 5. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві.

Аналіз множин факторів впливу на експлуатаційні параметри машинних агрегатів та комплексів машин. Класифікація факторів за групами. Критерії оптимізації комплексів машин. Обґрунтування оптимального складу комплексів машин за сукупністю критеріїв ефективності функціонування. Методика визначення складу комплексів машин з мінімальними витратами ресурсів. Методика визначення раціонального складу комплексів машин для рослинництва з урахуванням строків проведення технологічних операцій.

Тема 6. Системний підхід до проектування операційних механізованих технологій.

Мета проектування технологічних операцій. Вихідні дані для проектування операцій: умови проведення операції, агротехнічні та екологічні вимоги, ресурси, оптимальні строки. Умови поєднання технологічних операцій. Обґрунтування та раціональний вибір засобів технологічного та технічного обслуговування агрегатів. Системний підхід і функціонально-ресурсне проектування. Досягнення запрограмованих результатів із мінімальною витратою ресурсів як основного напрямку функціонально-ресурсного проектування. Екологічні обмеження під час проектування технологічних операцій. Роль ресурсу часу під час проектування та реалізації технологічних операцій. Критерії вибору раціональних технічних засобів. Оптимізація параметрів і режимів роботи машинних агрегатів.

Тема 7. Синтез раціональних комплексів та систем машин.

Основні поняття про раціональний склад комплексів машин і машинного парку. Методи їх проектування. Комплекси машин як сукупність взаємозв'язаних за призначенням і виконанням технологічного процесу технічних засобів. Умови комплексної механізації всіх операцій технологічного процесу виробництва

продукції рослинництва. Задачі щодо обґрунтування раціонального складу, багатокритеріальне оцінювання вибору технічних засобів. Оптимізація технологічних комплексів машин та обґрунтування раціонального складу машинного парку.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модуль 1. Формалізація процесу синтезу комплексів та систем машин												
Змістовий модуль 1. Формалізація процесу синтезу комплексів та систем машин												
Тема 1. Основні поняття теорії моделювання.	14	6	4	-	-	4						
Тема 2. Формалізація задач оптимізації робочих процесів в техніці.	17	6	6	-	-	5						
Тема 3. Основні поняття та принципи структурно-параметричного синтезу технологічних комплексів та технічних систем.	22	8	10	-	-	4						
Разом за змістовим модулем 1	53	20	20	-	-	13						
Модуль 2. Оптимізації комплексів машин і структури машинно-тракторного парку												
Змістовий модуль 2. Оптимізації комплексів машин і структури машинно-тракторного парку												
Тема 4. Наукові основи оптимізації машинно-тракторного парку	14	6	4	-	-	4						
Тема 5. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві.	15	6	4	-	-	5						
Тема 6. Системний підхід до проектування операційних механізованих технологій.	19	6	8	-	-	5						

Тема 7. Синтез раціональних комплексів та систем машин.	19	6	8	-	-	5						
Разом за змістовим модулем 2	67	24	24	-	-	19						
Усього годин	120	44	44	-	-	32						

5. Теми та план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Основні поняття теорії моделювання. Постановка задачі моделювання систем. Види моделей. Характеристики моделей. Систематичний підхід до моделювання. Моделі в умовах невизначеності. Структурні моделі. Поняття та способи структурування об'єктів моделювання. Графи як узагальнення структурних моделей. Способи формалізації структурних моделей. Модель, як складова частина оптимізації. Моделювання в задачах прийняття оптимальних рішень.	6
2	Тема 2. Формалізація задач оптимізації робочих процесів в техніці. Побудова задачі оптимізації. Математичне формулювання задачі оптимізації. Введення у теорію помилок. Аналіз помилок у алгоритмах. Безумовна оптимізація. Одномірний випадок. Багатомірний випадок. Оптимізація в умовах лінійних обмежень. Розробка моделей для оптимального прогнозування в техніці. Класифікація задач і методів прогнозування.	6
3	Тема 3. Основні поняття та принципи структурно-параметричного синтезу технологічних комплексів та технічних систем. Формалізація завдань і методів проектування. Структуризація процесів проектування технічних систем. Призначення та порядок побудови графа цілей і задач. Декомпозиція загальної задачі. Виділення основних (центральної підсистем). Призначення та порядок побудови параметричних схем технологічних процесів. Порівняльна характеристика параметричних та інших структурних схем. Вибір цільової функції процесу. Методи лінійного та нелінійного програмування. Структурно-параметричний синтез систем. Постановка завдання синтезу. Математична модель однокритеріального завдання синтезу. Структурно-топологічний синтез систем. Математичне моделювання задачі синтезу.	8
4	Тема 4. Наукові основи оптимізації машинно-тракторного парку. Теоретичний метод визначення складу машино-тракторного парку (МТП). Основні поняття оптимізації МТП та методи моделювання машиновикористання в рослинництві. Математична модель оптимального використання техніки за критерієм мінімальних затрат на виконання механізованих робіт.	6

5	Тема 5. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві. Аналіз множин факторів впливу на експлуатаційні параметри машинних агрегатів та комплексів машин. Класифікація факторів за групами. Критерії оптимізації комплексів машин. Обґрунтування оптимального складу комплексів машин за сукупністю критеріїв ефективності функціонування. Методика визначення складу комплексів машин з мінімальними витратами ресурсів.	6
6	Тема 6. Системний підхід до проектування операційних механізованих технологій. Мета проектування технологічних операцій. Вихідні дані для проектування операцій: умови проведення операції, агротехнічні та екологічні вимоги, ресурси, оптимальні строки. Умови поєднання технологічних операцій. Обґрунтування та раціональний вибір засобів технологічного та технічного обслуговування агрегатів. Системний підхід і функціонально-ресурсне проектування. Досягнення запрограмованих результатів із мінімальною витратою ресурсів як основного напрямку функціонально-ресурсного проектування. Екологічні обмеження під час проектування технологічних операцій.	6
7	Тема 7. Синтез раціональних комплексів та систем машин. Основні поняття про раціональний склад комплексів машин і машинного парку. Методи їх проектування. Комплекси машин як сукупність взаємозв'язаних за призначенням і виконанням технологічного процесу технічних засобів. Оптимізація технологічних комплексів машин та обґрунтування раціонального складу машинного парку.	6
Разом		44

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Побудова одно- та багатофакторної моделей в середовищі Excel.	4
2	Побудова 3-D моделі в MathCAD.	4
3	Рішення оптимізаційних задач в MathCAD.	4
4	Розв'язання задачі лінійного програмування графічним методом.	4
5	Застосування системного підходу при топологічному аналізі складних систем.	4
6	Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи машино-тракторних агрегатів та мобільних сільськогосподарських машин.	4
7	Раціональне комплектування ресурсозберігаючих машинно-тракторних агрегатів.	4
8	Обґрунтування ресурсозберігаючих способів руху машинно-тракторних агрегатів.	4

9	Визначення продуктивності машинно-тракторного агрегату.	4
10	Оптимізація експлуатаційних параметрів і режимів роботи машинно-тракторних агрегатів за критеріями ресурсозбереження	4
11	Оптимізація характеристик системи технічного обслуговування і відновлення технологічних комплексів	4
	Разом	44

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Основні поняття теорії моделювання. Формальні перетворення структурних моделей. Потокові графи. Функціональні моделі. Моделі статички. Моделі динаміки. Моделі обслуговування. Алгоритмічні моделі. Агрегатні та комплексні функціональні моделі.	4
2	Тема 2. Формалізація задач оптимізації робочих процесів в техніці. Прогнозування тенденцій розвитку та удосконалення об'єкту досліджень по аналізу функціональних критеріїв подібності. Оцінка техніко-економічної ефективності застосування методів моделювання при дослідженні машин.	5
3	Тема 3. Основні поняття та принципи структурно-параметричного синтезу технологічних комплексів та технічних систем. Перехід до задачі динамічного програмування. Обчислювальні алгоритми синтезу. Загальна методика отримання кількісних оцінок при аналізі та синтезі інженерних рішень.	4
4	Тема 4. Наукові основи оптимізації машинно-тракторного парку. Моделювання системи технічного обслуговування засобів механізації. Методика обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин.	4
5	Тема 5. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві. Методика визначення раціонального складу комплексів машин для рослинництва з урахуванням строків проведення технологічних операцій.	5
6	Тема 6. Системний підхід до проектування операційних механізованих технологій. Роль ресурсу часу під час проектування та реалізації технологічних операцій. Критерії вибору раціональних технічних засобів. Оптимізація параметрів і режимів роботи машинних агрегатів.	5
7	Тема 7. Синтез раціональних комплексів та систем машин. Умови комплексної механізації всіх операцій технологічного	5

	процесу виробництва продукції рослинництва. Задачі щодо обґрунтування раціонального складу, багатокритеріальне оцінювання вибору технічних засобів.	
	Разом	32

8. Методи навчання

1. Методи навчання за джерелом знань:

1.1. *Словесні*: розповідь, пояснення, бесіда (евристична і репродуктивна), лекція, інструктаж.

1.2. *Наочні*: демонстрація, ілюстрація, спостереження.

1.3. *Практичні*: лабораторний метод, практична робота, вправа, виробничо-практичні методи.

2. Методи навчання за характером логіки пізнання.

2.1. *Аналітичний*

2.2. *Методи синтезу*

2.3. *Індуктивний метод*

3. Методи навчання за характером та рівнем самостійної розумової діяльності студентів.

3.1. *Частково-пошуковий (евристичний)*

3.2. *Репродуктивний*

3.3. *Пояснювально-демонстративний*

4. **Активні методи навчання** - використання технічних засобів навчання, диспути, використання проблемних ситуацій, самооцінка знань, імітаційні методи навчання (побудовані на імітації майбутньої професійної діяльності), використання навчальних та контролюючих тестів, використання опорних конспектів лекцій.

5. **Інтерактивні технології навчання** - використання мультимедійних технологій.

9. Методи контролю

1. Рейтинговий контроль за 100-бальною шкалою оцінювання ЄКТС

2. Проведення проміжного контролю протягом семестру (проміжна атестація)

3. Полікритеріальна оцінка поточної роботи здобувача:

- рівень знань, продемонстрований на практичних, лабораторних та семінарських заняттях;

- активність під час обговорення питань, що винесені на заняття;

- результати виконання та захисту лабораторних робіт;

- експрес-контроль під час аудиторних занять;

- самостійне опрацювання теми в цілому чи окремих питань;

- виконання аналітично-розрахункових завдань;

- написання рефератів, есе, звітів;

- результати тестування;

- письмові завдання при проведенні контрольних робіт;

4. Пряме врахування у підсумковій оцінці виконання здобувачем певного індивідуального завдання : - навчально-дослідна робота

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота							СРС	Разом за модулі та СРС	Тестування	Сума
Змістовий модуль 1 - 30 балів			Змістовий модуль 2 - 40 балів							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	15	85 (70+ 15)	15	100
10	10	10	10	10	10	10				

T1, T2 ... T7 – теми змістових модулів, див. стор. 5.

11. Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
75-81	C		
69-74	D	задовільно	
60-68	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

12. Рекомендована література

Базова

1. Дубовой В. М. Моделювання та оптимізація систем: підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., А.В.Усов А. В.] –Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. – 804 с.
2. Зайцев, С.В. Оптимизация технических систем: учеб. пособие / С.В. Зайцев, М.Ю. Тимофеев. – М.: МАДИ, 2019. – 124 с.

3. Островский Г.М. Оптимизация технических систем : учебное пособие / Г.М. Островский, Н.Н. Зиятдинов, Т.В. Лаптева. — М. : КНОРУС, 2012. — 424 с.
4. Ладієва, Л.Р. Оптимізація технологічних процесів./ Л.Р. Ладієва. -К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2004. - 192 с.
5. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. посібник. Львів: Світ, 2001. - 232 с.
6. Гліненко Л. К, Сухоносів О. Г.; Основи моделювання технічних систем: навч. посібник . - Львів : Бескид Біт, 2003. 176с.
7. Дякон В.М., Ковальов Л.Є. Моделі і методи теорії прийняття рішень: Підручник. –К. АНФ ГРУП, 2013. – 604.
8. Ловейкін В. С. Режимно-параметрична оптимізація технічних систем / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич // Машинобудування. - 2017. - № 19. - С. 90-95.
9. Розв’язання оптимізаційних задач за допомогою методів лінійного програмування: навч. посібник / М. Беліков, А. Гуржій, В. Кігель, В.Самсонов. -К.: ІСДО, 1994. - 132 с.
10. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. / И.Л. Акулич. - М.: Высшая школа, 2000. - 319с.
11. Мельник І.І. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу: навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, В.В. Марченко та ін. – К. : ВВЦ НАУ, 2004. – 151 с.
12. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 / Пастухов Валерій Іванович ; Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. - Х., 2006. - 38 с.
13. Бабій В. П. Оптимізація використання комплексів машин. Науковий вісник НАУ-К., 2003.-С. 29-32.
14. Бойко А. І. Вибір оптимального складу комплексу МТА для виробництва сільгоспкультур / А. І. Бойко, В. І. Пастухов // Техніка АПК. Науково-технічний журнал. – 2006. – № 3. – С. 6–9.
15. Мельник І. І. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві / І. І. Мельник, В. І. Сапсай, Г. І. Барабаш, В.М. Зубко, В. В. Чуба // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - 2011. - Вип. 41(1). - С. 272-278.
16. Інженерний менеджмент / За ред.. І.І. Мельника: Навчальний посібник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 536с.

Допоміжна

17. Мельник І.І, Гречкосій В.Д., Марченко В.В. та ін. Оптимізація комплексів машин і структури машинно-тракторного парку. - К.: НАУ, 1998, 84с.
18. Гальченко В. Я., Трёмбовецкая Р. В. MathCAD: математические методы и инструментальные средства оптимизации / В. Я. Гальченко, Р. В.Трёмбовецкая - Черкассы: ЧП Гордиенко Е. И., 2018.-516с.

19. Штовба С. Д. Методи оптимізації в середовищі Matlab. Лабораторний практикум: навч. посібн. / С. Д. Штовба. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 56 с.
20. Лысенко И.В. Анализ возможностей решения задач дискретной оптимизации средствами систем компьютерной математики / И.В. Лысенко, В.О. Бутенко // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС. – 2013. – Вип. 5 (112). – С. 96–101.
21. Вежелис Т.М. Решение оптимизационных задач в среде MS Excel 2013 / Т.М. Вежелис, А.Б. Гордеев, А.Ю. Громов. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2014. – 50 с.
22. Коробов В. І. Хімічні розрахунки в середовищі Mathcad : навч. посібник / В. І. Коробов, В. Ф. Очков. – Д. : Вид-во ДНУ, 2012. – 216 с.
23. Жалдак М.І. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник/ Жалдак М.І., Триус Ю.В. -Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.
24. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов/ Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. – 440 с.
25. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – 2-е изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.: ил.
26. Івченко І.Ю. Математичне програмування: навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007 – 232с.