

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС

дисципліни

“Оптимізаційні методи і моделі” (1 ч.)

для підготовки фахівців

спеціальності 051 «Економіка» (Економічна кібернетика)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра економічної кібернетики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету ІТ

О.Г. Глазунова

“ _____ ” _____ 2019р.

РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри економічної кібернетики

Протокол № 12 від “30” травня 2019 р.

Завідувач кафедри

_____ А.В. Скрипник

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

“Оптимізаційні методи і моделі”

(1 ч.)

спеціальності 051 «Економіка» (Економічна кібернетика)

Факультет інформаційних технологій

Розробник: ст. викл. Шульга Н.Г.

Київ – 2019р.

1. Опис навчальної дисципліни

“Оптимізаційні методи і моделі”

(1 ч.)

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Бакалавр	
Напрямок підготовки		
Спеціальність	051 Економіка (Економічна кібернетика)	
Спеціалізація		
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	базова	
Загальна кількість годин	150	
Кількість кредитів ECTS	5	
Кількість змістових модулів	2	
Курсовий проект (робота) (за наявності)		
Форма контролю	залік	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки (курс)	3	-
Семестр	5	-
Лекційні заняття	30год.	-
Практичні, семінарські заняття	30год.	-
Лабораторні заняття	-	-
Самостійна робота	90	-
Індивідуальні завдання		-
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	4 год.	-

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета. Учбова дисципліна направлена на опанування методів розв’язання задач оптимізації фінансового та аграрного менеджменту

Предмет вивчення – економічні та організаційно-управлінські системи.

Знання з “Оптимізаційні методи і моделі” необхідні студентам для написання бакалаврських і магістерських робіт, а також проведення наукових досліджень.

Завдання:

- опанування основними поняттями математичного моделювання;
- оволодіння теоретичними основами математичного моделювання;
- оволодіння основними методами розв'язання оптимізаційних задач.

У результаті вивчення навчальної дисципліни **студент повинен знати:**

- класи задач, які розглядає математичне моделювання;
- основи теорії математичного моделювання як методу наукового пізнання, визначення та понятійні категорії цього методу;
- основні принципи та інструменти постановки задач, побудови оптимізаційних моделей;
- основні методи розв'язання оптимізаційних задач.

У результаті вивчення навчальної дисципліни **студент повинен вміти:**
застосовувати принципи і методи математичного моделювання на практиці в управлінні економічними і технологічними процесами у народному господарстві

До заліку студенти допускаються після зарахування індивідуальних розрахункових робіт, здачі модульних робіт.

3. Програма та структура навчальної дисципліни “Оптимізаційні методи і моделі” для повного терміну денної форми навчання

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.
Змістовий модуль 1. Лінійні моделі та методи відшукування розв’язків лінійних оптимізаційних задач												
Тема 1. Предмет, зміст, завдання та структура курсу. Сутність оптимізаційних моделей та методів. Математична постановка оптимізаційних задач. Класифікація задач математичного програмування. Приклади побудови оптимізаційних моделей.	4	-	4	-		-						
Тема 2. Загальна задача лінійного програмування та її економічна інтерпретація. Постаті ЗЛП. Реалізація задач з функції «Пошук рішень» з допомогою табличного процесора EXEL.	12	-	4	-	-	8						
Тема 3. Геометрична інтерпретація та графічний розв’язок задачі лінійного програмування.	15	-	5	-	-	10						
Тема 4. Симплексний метод. Вилучення Гауса, Жордана, Жордана-Гауса. Метод штучного базису.	21	-	8	-	-	13						
Тема 5. Теорія двоїстості та аналіз лінійних моделей з допомогою двоїстих оцінок. Метод послідовного наближення оптимального плану (Метод Лемке).	23	-	11	-	-	12						
Разом за змістовим модулем 1	75	16	25	-	-	43						
Змістовий модуль 2. Теорія двоїстості. Розподільчі задачі та методи їх розв’язання.												
Тема 6. Транспортна задача та методи її розв’язання. Задача про призначення та методи її розв’язання.	28	-	12	-	-	16						
Тема 7. Лінійні задачі з параметрами та методи їх розв’язання. Транспортна задача з параметрами.	24	-	8	-	-	16						
Тема 8. Дробово-лінійна задача. Економічна інтерпретація. Методи розв’язання.	23	-	8	-	-	15						
Разом за змістовим модулем 2	75	-	28	-	-	47						
Усього годин	150	30	15	15	-	90						

4. Теми семінарських занять

Не передбачено планом

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Приклади побудови оптимізаційних задач. Реалізація задач з функції «Пошук рішень» допомогою табличного процесора EXEL. Приклади побудови задач лінійного програмування. Геометрична ілюстрація розв'язків ЗЛП.	4
2	Загальна задача лінійного програмування та її економічна інтерпретація. Постаті ЗЛП. Реалізація задач з функції «Пошук рішень» з допомогою табличного процесора EXEL.	4
3	Графічне розв'язування задач ЛП.	5
4	Перехід від ЗЛП до стандартної постаті Знаходження опорних та оптимальних планів задач МЖВ, ЗЖВ. Реалізація симплексного методу та його модифікацій у різних симплексних таблицях. Знаходження опорних та оптимальних планів задач методом штучного базису.	8
5	Побудова двоїстих задач. Знаходження розв'язків пари спряжених задач у двоїстих симплексних таблицях. Метод Лемке.	11
6	Побудова початкових планів. Реалізація методу потенціалів та розподільчого методу. Задача про призначення. Знаходження розв'язків ТЗ на ПЕОМ.	12
7	Розв'язування задач з параметрами у виразі функції мети.	8
8	Розв'язування дробово-лінійних задач	8

6. Теми лабораторних занять

Не передбачено планом

Примітка.

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

для денної форми навчання – (не відводяться години на самостійну роботу)

для заочної форми навчання –

7. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами.

7.1. Питання для контролю

1. Предмет оптимізаційних методів та моделей.
2. Поняття моделі та моделювання.
3. Види моделей.
4. Класифікація моделей.
5. Оптимізаційні моделі.
6. Етапи дослідження з допомогою моделей.
7. Циклічний характер досліджень з допомогою моделей.
8. Математичне програмування як розділ дослідження операцій.
9. Приклади застосування економіко-математичних моделей.
10. Об'єкт та предмет математичного програмування.
11. Загальна задача математичного програмування та її складові.
12. Загальна задача лінійного програмування.
13. Постаті задач лінійного програмування.
14. Зведення загальної задачі лінійного програмування до стандартної.
15. Геометрична інтерпретація задач лінійного програмування у просторі змінних задачі.
16. Властивість областей означення задач ЛП (опукла множина та її властивості).
17. Основні аналітичні властивості задач ЛП. (Теорема про існування розв'язку ЗЛП. Теорема про кутову точку. Поняття базисного розв'язку, опорного та оптимального планів.)
18. Поняття направляючого вектора (вектора-градієнта) та лінії (площини, гіперплощини) рівня.
19. Поняття базисного розв'язку, опорного та оптимального плану.
20. Теорема про план лінійної задачі.
21. Поняття граничної та кутової точки.
22. Ідея симплексного методу відшукування розв'язків лінійних задач.
23. Геометрична інтерпретація симплексного методу.
24. Модифіковані жорданові вилучення та їх застосування до симплексного методу.
25. Симплексний метод. Відшукування опорного плану (І етап) з використанням виключень Жордана-Гауса (модиф. викл.).
26. Симплексний метод. Відшукування оптимального плану (ІІ етап). Виключення Жордана-Гауса (мод. викл.).
27. Правила перетворень у симплексних таблицях. Виключення Жордана-Гауса (мод. викл.).
28. Симплексний метод. Відшукування опорного плану (І етап) з використанням звичайних жорданових виключень.
29. Відшукування оптимального плану (ІІ етап) з використанням виключень Жордана-Гауса (модиф. викл.).
30. Правила перетворень у симплексних таблицях. Звичайні жорданові виключення.

31. Ідея та архітектоніка симплексного методу.
32. Метод штучного базису. Його переваги та недоліки.
33. Алгоритм методу штучного базису.
34. Задачі дробово-лінійного програмування. Застосування симплексного методу для їх розв'язання.
35. Двоїстість у лінійному програмуванні. Економічна інтерпретація пари спряжених задач, записаних у другій канонічній постаті.
36. Характерні риси (властивості) пари спряжених задач, записаних у загальній формі.
37. Основна теорема двоїстості.
38. Умови доповнюючої не жорсткості.
39. Теорема про існування розв'язків пари двоїстих задач.
40. Двоїстість у ЛП. Економічна інтерпретація пари спряжених задач, записаних у другій канонічній постаті.
41. Розподільчі задачі математичного програмування.
42. Транспортна задача. Постановка задачі.
43. Поняття ланцюга та циклу транспортної задачі.
44. Теорема про існування розв'язків транспортної задачі.
45. Відкриті та закриті транспортні задачі. Балансова умова.
46. Особливості матриці основних умов транспортної задачі.
47. Теорема про ранг матриці транспортної задачі та її наслідки (Теорема про одну небазисну та базисні клітини транспортної задачі).
48. Задача двоїста до транспортної.
49. Метод потенціалів (Канторовича-Гавуріна) та його зв'язок з теорією двоїстості.
50. Ідея методу потенціалів.
51. Розподільчий метод та його зв'язок з методом потенціалів.
52. Задачі про призначення. Їх особливість. Методи розв'язання.
53. Особливості розв'язання задач з параметрами.
54. Застосування симплексного методу для відшукування розв'язків задач з параметрами.
55. Розв'язання транспортних задач з параметрами методом потенціалів.

7.2. Приклади тестових завдань

1.

	Роль математичного програмування полягає у:
1	- розробці методів розв'язання екстремальних задач;
2	- відшуванні області допустимих розв'язків задач;
3	- розробці методів розв'язання лінійних задач;
4	- побудові екстремальних задач.

2. Підберіть синоніми:

А. Перша канонічна постать	1. подвійна; 2. симетрична; 3. стандартна;
Б. Друга канонічна постать	4. стандартизована; 5. узагальнена.

3.

	Задачі математичного програмування класифікуються як:
1	- лінійні та нелінійні;
2	- кубічні та двоїчні;
3	- статичні та динамічні;
4	- стохастичні та детерміновані.

4. Привести до стандартної постаті загальну задачу лінійного програмування:

$$z = 2x_1 + x_2 - 3x_3 \rightarrow \max$$

$$5x_1 + 4x_2 - x_3 \leq 10$$

$$x_1 + x_2 \geq 2$$

$$x_1 \leq 0; x_2 \geq 0; x_3 \leq 0.$$

5.

	Загальна задача лінійного програмування включає функцію мети та:
1	- обмеження-нерівності обох типів при лише невід'ємних змінних;
2	- обмеження-нерівності обох типів, обмеження-рівняння та змішану систему обмежень на знак змінних;
3	- обмеження-рівності та змішану систему обмежень на знак змінних;
4	- обмеження-рівності при невід'ємних змінних.

6. У просторі 3-х змінних ЗЛП обмеження-нерівність інтерпретується як (продовжіть)

7. Вставити пропущену фразу! У просторі n-х змінних ЗЛП ($n > 3$) функція мети інтерпретується як рівня, напрямком яких задається направляючим вектором

8.

	При відшуканні <i>max</i> функції мети площину (пряму) рівня рухають у напрямку:
1	- до найвіддаленішої точки від початку координат без врахування знаку віддалі;
2	- до найближчої точки від початку координат з врахуванням знаку віддалі;
3	- до найближчої крайньої точки многогранника планів задачі;
4	- до найвіддаленішої від початку координат крайньої точки многогранника планів задач, вказаному направляючим вектором.

9.

	Розв'язком задачі лінійного програмування (ЗЛП) може бути:
1	- промінь;
2	- відрізок;
3	- кутова точка;
4	- внутрішня точка многогранника планів задачі;

10.

	Опорний план стандартної задачі лінійного програмування – це:
1	- довільний вектор, що задовольняє основну систему умов задачі;
2	- вектор, невід'ємні компоненти якого задовольняють умови задачі;
3	- невід'ємний базисний розв'язок;
4	- недодатний вектор.

11. Знайдіть правильні математичні записи опуклої множини:

$$1. \begin{cases} M = \lambda_1 M_1 + \lambda_2 M_2 \\ \lambda_1 + \lambda_2 \neq 1, \quad \lambda_1, \lambda_2 \leq 0 \end{cases} \quad 2. \begin{cases} M = \sum_{j=1}^2 \lambda_j M_j \\ \sum_{j=1}^2 \lambda_j = 1, \quad \lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \end{cases} \quad 3. \begin{cases} M = \lambda_1 M_1 + \lambda_2 M_2 \\ \lambda_1 + \lambda_2 = 1, \quad \lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \end{cases}$$

$$4. \begin{cases} M = \lambda M_1 + (1-\lambda)M_2 \\ 0 \leq \lambda \leq 1 \end{cases} \quad 5. \begin{cases} M = (1-\lambda)M_1 + \lambda M_2 \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

12.

	МЖВ. Симплексні таблиці. Ознакою оптимальності опорного плану ЗЛП, функція мети якої прагне до <i>max</i>, є у цільовому рядку:
1	- відсутність додатних елементів;
2	- наявність додатних елементів;
3	- відсутність від'ємних елементів;
4	- відсутність нульових елементів.

13.

	МЖВ. Симплексні таблиці. Ознакою несумісності системи умов є:
1	- відсутність додатних елементів у рядку з від'ємним вільним членом;
2	- відсутність від'ємних елементів хоча б у одному рядку з від'ємним вільним членом;
3	- наявність додатних елементів у рядку з від'ємним вільним членом;
4	- наявність нульових елементів у рядку з від'ємним вільним членом.

14.

	Дробово-лінійна задача – це задача, що має:
1	- нелінійну функцію мети;
2	- лінійну функцію мети та нелінійні обмеження;
3	- лінійні обмеження та функцію мети, математичний запис якої є відношенням лінійних функцій;
4	- нелінійні обмеження та функцію мети, математичний запис якої є будь-яким дробом.

15. Метод штучного базису. Для забезпечення виведення штучних змінних з базису у функцію мети вводять (*Продовжіть!*)

16.

	Принцип відшукування розв'язків задач з параметрами полягає у:
1	- поетапному відшукуванні розв'язків задач на окремих проміжках значень параметрів;
2	- відшукуванні розв'язків задач в окремих точках області допустимих значень планів задачі;
3	- відшукуванні розв'язків у крайніх точках заданого інтервалу значень параметрів;
4	- у побудові окремих задач та відшукуванні їх розв'язків.

17.

До задачі побудована двоїста. Яка з них правильна ?	
Задана задача $z = 4x_1 + 8x_2 \rightarrow \max$ $-3x_1 + 4x_2 \leq 2$ $12x_1 + 5x_2 \leq 4$ $x_1 + 2x_2 \leq 3$ $x_1 \geq 0, x_2 \leq 0$	$w = 2y_1 + 4y_2 \rightarrow \min$ $w = 2y_1 + 4y_2 \rightarrow \min$ 1. $-3y_1 + 12y_2 + y_3 \geq 4$ $4y_1 + 5y_2 + 2y_3 \leq 8$ $y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_3 \geq 0$ 2. $-3y_1 + 12y_2 + y_3 \geq 4$ $4y_1 + 5y_2 + 2y_3 \leq 8$ $y_1 \geq 0, y_2 \leq 0, y_3 \geq 0$

	$w = 2y_1 + 4y_2 + 3y_3 \rightarrow \min$ $w = 2y_1 + 4y_2 \rightarrow \min$ 3. $-3y_1 + 12y_2 + y_3 \geq 4$ 4. $3y_1 + 12y_2 + y_3 \geq 4$ $4y_1 + 5y_2 + 2y_3 \leq 8$ $4y_1 + 5y_2 + 2y_3 \leq 8$ $y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_3 \geq 0$ $y_1 \geq 0, y_2 \leq 0, y_3 \geq 0$
--	--

18.

	До методів побудови початкових планів транспортної задачі належать:
1	- північно-західного кута;
2	- мінімального елемента вартостей перевезень;
3	- подвійних відміток;
4	- крайового кута.

19. Одна небазисна клітина транспортної задачі з рештою базисних клітин
(Продовжіть!)

20. Авторське право симплексного методу належить:

1	- Бернуллі;
2	- Данцігу;
3	- Фішеру;
4	- Канторовичу.

21.

	При відшуванні розв'язку цілочислової задачі:
1	- достатньо знайти розв'язок не цілочислової задачі і заокруглити значення у сторону їх збільшення;
2	- достатньо знайти розв'язок не цілочислової задачі і заокруглити значення у сторону їх зменшення;
3	- необхідні спеціальні методи відшування оптимальних планів;
4	- достатньо знайти розв'язок не цілочислової задачі і заокруглити значення за правилами округлень.

22. Поставте у відповідність:

А. Скорочені симплексні таблиці	На місці розв'язуючого елемента записується: 1) обернений даному; 2) одиниця; 3) «-1»; 4) нуль.
Б. Повні симплексні таблиці	

23. Умови потенціальності (транспортна задача) є ні чим іншим, як умовами
(Продовжіть!)

24. Ітерації симплексного методу. Розв'язуючий елемент не може бути ...
(Продовжіть!)

25. Геометрично опуклу множину можна інтерпретувати як:

1	- криву;
2	- довільний простір;
3	- простір, дві довільні точки якого можна з'єднати відрізком прямої, кожна точка якого належатиме цьому простору;

4	- лінію всі точки якої належать площині;
---	--

26. Вставте пропущені слова! (Метод Гоморі). Правильне відсікання повинне відсікати і не повинне відсікати жодного

27.

	Функція мети у лінійно-оптимізаційній моделі – це:
1	- формалізований вигляд критерію оптимальності;
2	- квадратична форма;
3	- сума середньоквадратичних відхилень дійсних значень від розрахункових;
4	- дробово-лінійний вираз.

28. Метод найшвидшого спуску може бути застосований для відшукування розв’язків цілочислових задач:

1	- лінійних;
2	- нелінійних
3	- як лінійних, так і нелінійних

29. Чи можуть задачі містити параметри у вільних членах своїх обмежень ?

1	- ні;
2	- так;
3	- лише у деяких випадках динамічних задач.

30. Чи можна задачу на мінімум цільової функції привести до задачі на відшукування максимуму цільової функції множенням коефіцієнтів при невідомих у виразі функції мети на «-1»?

1	- у деяких випадках, коли вираз функції мети не містить доданка зі змінною у нульовій степені;
2	- ні;
3	- так.

7. Методи навчання

- Проведення лекційних та лабораторних занять з використанням сучасних інформаційних технологій.
- Написання студентами письмових робіт, (самостійна робота студентів) що передбачають використання сучасних інформаційних технологій.

9.Форми контролю

- Виконання індивідуальних завдань.
- Модульні контрольні роботи.
- Іспит.

10. Розподіл балів, які отримують студенти. Оцінювання студента відбувається згідно положенням «Про екзамени та заліки у НУБіП України» від 27.02.2019 р. протокол № 7 з табл. 1.

Видами контролю знань є поточний контроль, проміжна та підсумкова атестації.

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості здобувачів вищої освіти до виконання конкретної роботи.

Проміжна атестація проводиться після вивчення програмного матеріалу кожного змістового модуля. Навчальний матеріал дисципліни поділяється на два змістові модулі.

Проміжна атестація має визначити рівень знань здобувачів вищої освіти з програмного матеріалу змістового модуля (рейтингова оцінка із змістового модуля), отриманих під час усіх видів занять і самостійної роботи.

Засвоєння здобувачем вищої освіти програмного матеріалу змістового модуля вважається успішним, якщо рейтингова оцінка його становить не менше, ніж 60 балів за 100-бальною шкалою.

Після проведення проміжних атестацій з двох змістових модулів і визначення їх рейтингових оцінок визначається рейтинг здобувача вищої освіти з навчальної роботи $R_{НР}$ (не більше 70 балів) за формулою:

$$R_{НР} = \frac{0,7 \times (R_{ЗМ}^1 \cdot K_{ЗМ}^1 + R_{ЗМ}^2 \cdot K_{ЗМ}^2)}{K_{ДИС}},$$

де:

$R_{ЗМ}^1$, $R_{ЗМ}^2$ – рейтингові оцінки із змістових модулів за 100-бальною шкалою;

$K_{ЗМ}^1$, $K_{ЗМ}^2$ – кількість кредитів Європейської кредитної трансферно накопичувальної системи (ЄКТС) (або годин), передбачених робочим навчальним планом для відповідного змістового модуля.

Рейтинг здобувача вищої освіти з навчальної роботи округлюється до цілого числа.

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни $R_{ДИС}$ (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи $R_{НР}$ (до 70 балів): $R_{ДИС} = R_{НР} + R_{АТ}$.

Національна оцінка	Рейтинг здобувача вищої освіти, бали
Відмінно	90-100
Добре	74-89
Задовільно	60-73
Незадовільно	0-63

11. Методичне забезпечення

1. <http://elibrary.nubip.edu.ua/16951/> Практикум до виконання лабораторних робіт Клименко Наталія Анатоліївна
2. <http://elibrary.nubip.edu.ua/16952/> Клименко Наталія Анатоліївна Попрозман Наталія Василівна Методичні вказівки з математичного програмування
3. З.О.Жадлун, Л.В.Галаєва, Н.Г.Шульга Оптимізаційні моделі та методи їх реалізації.: Навчальний посібник.- К.: НУБіПУ,2016.-150с.

12. Рекомендована література

Базова

1. Барвінський А.Ф., Олексів І.Я. а ін.. Математичне програмування: Навчальний посібник – Львів: Національний університет „Львівська політехніка” (ІОЦ „ІНТЕЛЕКТ” ІПДО), 2004. – 446с.
2. Вітлінський В.В., Наконечний С.І., Шарапов О.Д. та ін. Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник –Київ: КНЕУ, 2008. – 534с.
3. Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. – СПб.: 200. – 480 с.
4. З.О. Жадлун, Л.В. Галаєва, Н.Г. Шульга Теоретичні основи математичного моделювання економічних процесів: Методичні вказівки – К.: НАУ, 2004. – 27с.
5. Наконечний С.І., Савіна С.С. Математичне програмування- К.: КНЕУ, 2005, – 449 с.
6. Степанюк В.В. Методи математичного програмування. - К.: Вища школа, 1984, - 272 с.

Допоміжна

1. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 382 с.
2. Гуревич Т.Ф. и др. Сборник задач по математическому программированию. М.: Колос, 1977. - 160с.

3. Данциг Дж. Линейное программирование, его применения и обобщения /Пер. с англ. Г.Н. Андрианова и др. Общ. Ред. И предисл. Н.Н. Воробьева. – М.: Прогресс, 1966. –600 с.

4. Зуховицкий С.И. и др. Линейное и выпуклое программирование. М.: Наука, 1967. – 460 с.

5. Івченко І.Ю. Математичне програмування. – К.: ЦУЛ, 2007. – 231 с.

6. Кадиевский В.А., Жадлун З.А., Путятин Л.Д. Математическое программирование и экономико-математическое моделирование производственных систем в сельском хозяйстве. – К.: УСХА, 1987.

7. Кадієвський В.А., Жадлун З.О. Математичне програмування та моделювання економічних процесів. – К.: НАУ, 1995.

8. Калихман И.Л. Сборник задач по математическому программированию. М.: Высшая школа, 1975. – 270 с.

9. Калихман И.Л. Линейная алгебра и программирование. М.: Высшая школа, 1967. - 424 с.

10. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

11. Чемерис А., Юринець Р., Мицишин О. Методи оптимізації в економіці. К.: ЦУЛ, 2006. – 150 с.

13. Інформаційні ресурси

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

2. FAOSTAT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://faostat.fao.org>.

3. Лекції з математичного програмування та моделювання. – Режим доступу: <http://gendocs.ru/>