

Н. В. СТУЧИНСЬКА, М. Д. АНДРІЙЧУК, П. В. МИКИТЕНКО

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТА ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧ У ФАРМАЦІЇ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті представлено комплексне дослідження, що поєднує теоретичні та практичні аспекти застосування методів математичного моделювання у фармації, можливостей його використання для підвищення ефективності виробничих процесів, оптимізації логістичних рішень і вдосконалення процесу фахової підготовки майбутніх фармацевтів. Здійснено аналіз потреб та можливостей використання методів математичного та комп'ютерного моделювання для раціоналізації процесів розроблення нових препаратів та доведення фармацевтичних засобів і виробів медичного призначення від виробничої до споживчої сфери. Проведено огляд наукових публікацій у контексті розвитку методів математичного програмування від підходів Ж. Лагранжа до сучасних методів лінійного та нелінійного програмування, що знайшли широке застосування в економіці та фармацевтичній галузі. Особливу увагу приділено математичному моделюванню оптимального розподілу ресурсів і транспортної логістики у фармації. Розглянуто роль систем комп'ютерної математики (СКМ), таких як MathCad, у спрощенні процесу розв'язання оптимізаційних задач. Завдяки можливості оперативного змінення вихідних параметрів (запаси сировини, собівартість продукції тощо), програма MathCad дає змогу ефективно моделювати різні сценарії виробництва та логістики у фармації, швидко обчислювати задачі лінійного та нелінійного програмування, автоматизуючи розрахунки та мінімізуючи ризик помилок. В рамках дослідження продемонстровано методику розв'язання оптимізаційної задачі виробництва ліків. Цільовою функцією є максимальний прибуток від реалізації. Також запропоновано методику розв'язання типової транспортної задачі, що передбачає мінімізацію витрат на перевезення товару від декількох складів до декількох споживачів з урахуванням обмежень на ресурси. Використано метод потенціалів, що забезпечує коригування транспортних маршрутів з метою зниження загальних логістичних витрат. Розглянуто дидактичний аспект застосування математичних моделей у підготовці майбутніх магістрів фармації. Використання комп'ютерного моделювання в навчальному процесі сприяє розвитку аналітичного мислення та навичок роботи з оптимізаційними методами, що є важливими для ефективного управління ресурсами у фармацевтичній галузі. Автори обґрунтовують доцільність реалізації на практичних заняттях з дисципліни «Комп'ютерне моделювання у фармації» реальних задач фармацевтичної галузі, які є важливим засобом формування професійних компетентностей майбутніх працівників фармацевтичної сфери. Отримані результати вказують на ефективність використання методів математичного програмування для вирішення задач оптимізації у фармації. Використання математичних моделей дає змогу точніше прогнозувати попит, планувати виробничі потужності та логістичні процеси, що, в свою чергу, зменшує ризики браку або надлишків продукції. Подальший розвиток математичних методів та комп'ютерних технологій відкриває перспективи для модернізації процесів розроблення, виробництва та постачання лікарських засобів і виробів медичного призначення, їх раціонального використання для фармацевтичної опіки та підвищення якості медичної допомоги населенню.

Ключові слова: лінійне програмування, моделювання, імітаційне моделювання, оптимізація, екстремальні задачі, цільова функція, метод потенціалів, MathCad.

N. V. STUCHYNSKA, M. D. ANDRIICHUK, P. V. MYKYTENKO

OPTIMIZATION OF PRODUCTION AND LOGISTICS TASKS IN PHARMACY USING MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

This publication provides an analysis of the development of mathematical programming from the approaches of J. Lagrange to modern methods of linear and nonlinear programming, which have found widespread application in the economy and the pharmaceutical industry. Special attention is given to mathematical modeling of optimal resource distribution and transport logistics in pharmacy. The role of computer mathematics systems (CMS), such as MathCad, in simplifying the process of solving optimization problems is considered. MathCad allows for quick formulation and computation of linear and nonlinear programming tasks, automating calculations and minimizing the risk of errors. Due to the ability to promptly adjust input parameters, such as raw material stocks and production costs, various production and logistics scenarios can be effectively modeled. The study demonstrates the methodology for solving an optimization problem in drug production, where the objective function is maximizing the profit from sales. Additionally, a methodology for solving a typical transport problem, which involves minimizing transportation costs from several warehouses to several consumers with resource constraints, is proposed. The potential method, which ensures the adjustment of transport routes to reduce overall logistics costs, is applied. The educational aspect of applying mathematical models in the preparation of future pharmacy masters is also considered. The use of computer modeling in the educational process contributes to the development of analytical thinking and skills in working with optimization methods, which are essential for effective resource management in the pharmaceutical sector. This work proposes the implementation of real pharmaceutical industry problems during practical lessons in the course «Computer Modeling in Pharmacy», which are crucial for the formation of professional competencies for future pharmaceutical workers. Thus, the article presents a comprehensive study that combines theoretical and practical aspects of mathematical modeling in pharmacy. The prospects for its use to improve the efficiency of production processes, optimize logistical decisions, and enhance the educational process are identified. The results obtained indicate the effectiveness of using mathematical programming methods to solve optimization problems in pharmacy. The use of mathematical models allows for more accurate demand forecasting, planning of production capacities, and logistics processes, which, in turn, reduces the risks of shortages or surpluses of products. Further development of mathematical methods and computer technologies opens up broad prospects for improving existing processes and implementing innovations.

Key words: linear programming, modeling, simulation modeling, optimization, extremal problems, objective function, potential method, MathCad.

Вступ. Фармацевтична галузь, будучи однією з важливих складових системи охорони здоров'я, є водночас однією з найбільш технологічних та наукоємних галузей промисловості України. Реалізуючи забезпечення населення лікарськими засобами, необхідними для раціональної фармакотерапії та фармацевтичної опіки, сучасна фармацевтична промисловість стикається з великою кількістю викликів, серед яких: виклики воєнного стану, висока конкуренція, суворе регулювання, потреба в інноваціях та дотриманні високих стандартів якості та конкурентоспроможності продукції. За таких умов зростає важливість оптимізації усіх ланок функціонування галузі: від процесів виробництва та постачання лікарських засобів і виробів медичного призначення до їх застосування для належного лікарського забезпечення населення. Математичне та комп'ютерне моделювання є інструментами, які мають високий потенціал для раціоналізації управління процесами розробки нових препаратів

© Н. В. Стучинська, М. Д. Андрійчук, П. В. Микитенко, 2025

та доведення фармацевтичних засобів і виробів медичного призначення від виробничої до споживчої сфери, забезпечення раціонального використання ресурсів і дотримання високих стандартів *Належної аптечної практики* (Good Pharmacy Practice, GPP) водночас.

У кожній конкретній виробничій чи логістичній ситуації математичний аналіз забезпечує вибір оптимального підходу з урахуванням як економічної складової, так і якості медичної допомоги (вибору ефективного методу опіки, який можна оцінювати за різними критеріями: показники здоров'я, збільшення тривалості життя, покращення його якості тощо). Економічна складова потребує більш точного прогнозування попиту, планування виробничих потужностей та логістичних процесів, зменшення ризиків при виробництві та постачанні фармацевтичної продукції. Моделювання задач виробництва та транспортування є визначальним для забезпечення критичного рівня запасів, зменшення часу доставки та уникнення затримок, що є важливим для фармацевтичної продукції, яка часто вимагає особливих умов зберігання та транспортування і має обмежений термін придатності. Таким чином, розробка та використання методів математичного моделювання дає змогу фармацевтичним компаніям приймати обґрунтовані рішення, які мінімізують витрати, оптимізують продуктивність і покращують якість фармацевтичної опіки. Керування, що базується на математичних моделях, є визначальним для підвищення ефективності виробництва, швидшого адаптування до змін ринкових умов, реалізації ефективної та надійної медичної допомоги.

Актуальність таких досліджень посилюється також потребами підготовки фахівців фармацевтичної галузі, які володіють сучасними технологіями аналізу та оптимізації виробничих і логістичних процесів. Це обумовило посилення уваги до навчальних дисциплін, що сприяють формуванню у здобувачів вищої освіти професійних компетентностей та практичних навичок роботи з системами комп'ютерної математики та математичного моделювання. Так, в НМУ імені *О. О. Богомольця* оновлено змістове наповнення окремих інформативних дисциплін, а навчальна дисципліна «Комп'ютерне моделювання у фармації» з наступного навчального року перенесена з вибіркових до обов'язкових компонентів ОПП «Фармація. Промислова фармація».

Аналіз останніх досліджень. Історія оптимізації як науки має глибокі корені, що сягають ще давніх часів, коли людство зіткнулося з необхідністю ефективного використання обмежених ресурсів. Математичне програмування – розділ прикладної математики, що вивчає багатовимірні екстремальні задачі з обмеженнями. Перші дослідження у галузі вивчення цих задач здійснено французьким математиком *Ж. Лагранжем* (1736 – 1813), присвячено пошуку екстремуму *функції багатьох змінних*, які задовольняють накладені на них відповідні обмеження [1]. Однак, сучасне математичне програмування передусім розглядає властивості та розв'язки математичних моделей економічних процесів. Тому початком його розвитку як самостійного наукового напрямку слід вважати перші спроби застосування методів математичного програмування в прикладних дослідженнях, насамперед в економіці. 1939 р. – *Л. В. Канторович* монографія «Математичні методи організації і планування виробництва»: він заклав основи теорії оптимального виробничого планування й лінійного програмування; 1951 р. – *Дж. Данцигом* та *Т. Купмансом* введений термін «*лінійне програмування*» [2].

На сучасному етапі математичне програмування включає широке коло задач з відповідними методами розв'язання [2]. Задачі, які розв'язуються методами математичного програмування класифікують за характером залежності між змінними: лінійні і нелінійні. Якщо цільова функція та обмеження є лінійними функціями, тобто вони містять змінні у першому або нульовому степені, то така *задача є лінійною*. В усіх інших випадках задача буде *нелінійною*. Математична модель виробничої задачі може бути застосована для різних задач, де виникає проблема вибору найкращого (оптимального) варіанта. Слово «оптимальний» походить від латинського *optimus*, що значить – найкращий, досконалий. Щоб знайти оптимальний серед множини різних варіантів, доводиться розв'язувати задачі на знаходження максимуму чи мінімуму певних показників, тобто розв'язувати задачі, що об'єднуються єдиним терміном «*екстремальні задачі*» або «*задачі на extremum*» [3].

Моделювання, формалізація та використання апарату математичного аналізу в логістиці висвітлюється в роботах багатьох вчених, серед яких роботи *В. М. Горбачука* [4], *А. В. Горбової* [5], *Д. А. Левкіна* [6], *О. А. Сергієнка* [7], *О. В. Чалого* [8] та інших.

Постановка задачі. Мета роботи полягає у дослідженні та аналізі методів комп'ютерного моделювання, які використовуються для оптимізації виробничих і логістичних процесів у фармацевтичній галузі. В дослідженні нами розглядаються можливості використання комп'ютерного моделювання для мінімізації витрат у фармацевтичному виробництві та оптимального використання сировини, а також моделі найкоротших або найдешевших шляхів транспортування лікарських засобів, враховуючи час, витрати та наявність складів.

Математична модель. Для досягнення визначених цілей нами використовувались різноманітні методи дослідження, включаючи аналіз наукової літератури, математичне моделювання та програмування на мові Python. Такий підхід дозволяє не лише теоретично вивчити предмет, але й застосовувати отримані знання на практиці, що є ключовим елементом успішної підготовки майбутніх фахівців у фармацевтичній галузі [9].

Оптимізація полягає в послідовному виконанні декількох прогонів моделі з різними значеннями параметрів і знаходженні оптимальних результатів, при яких цільова функція досягає свого екстремуму. Структура оптимізаційної моделі складається з трьох основних елементів: цільової функції, обмежень та її змінних. Цільова фун-

кція будується як математичний вираз, до складу якого входять вихідні показники й (іноді) задані параметри моделі. Обмеження моделі звужують область допустимих рішень моделі, задають діапазон допустимих значень для змінних, задовольняють всім заданим обмеженням, і тим самим дозволяють знаходити прийнятні розв'язання задачі моделювання [10].

При розв'язанні оптимізаційних задач важливим є знаходження не локальних екстремумів, а глобального максимуму чи глобального мінімуму (найбільшого або найменшого значень) функції на множині X . У випадку, коли цільова функція, яка оптимізується, й обмеження лінійні, завдання оптимізації вирішується методами лінійного програмування й зазвичай називається *задачею лінійного програмування*. Задача лінійного програмування полягає в знаходженні n змінних $x_1, x_2, \dots, x_n$, які мінімізують (або максимізують) лінійну цільову функцію:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n.$$

При лінійних обмеженнях – рівностях:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = A_i, \text{ де } i = 1, 2, \dots, k.$$

І лінійних обмеженнях – нерівностях:

$$A_{j1}x_1 + A_{j2}x_2 + \dots + A_{jn}x_n \geq B, \text{ де } j = 1, 2, \dots, m.$$

Допустимим розв'язком задачі лінійного програмування є впорядкована множина чисел $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняють обмеженням. Найчастіше оптимальний розв'язок, якщо він існує, є єдиним. Однак можливі випадки, коли оптимальних розв'язків декілька. Тоді комп'ютерне моделювання розглядаємо також як інструмент вибору найбільш раціонального підходу на основі порівняльної оцінки ефективності кожного з альтернативних розв'язків.

Результати досліджень. Однією з основних задач у фармацевтичному виробництві є ефективне використання сировини для виготовлення лікарських засобів. Наявність обмежених ресурсів вимагає оптимізації їх використання для зменшення витрат та підвищення ефективності виробничого процесу. Математичне моделювання в цій сфері найчастіше включає такі методи:

- *імітаційне моделювання* – дозволяє відтворювати складні процеси, такі як виробництво лікарських засобів;
- *статистичне моделювання* – використовується для аналізу ризиків та прогнозування попиту на препарати;
- *моделювання на основі мереж Петрі* – ефективне для управління потоками матеріалів і продукції на фармацевтичних підприємствах.

До оптимізаційних задач математичного моделювання у фармацевтичній логістиці відносяться:

- визначення найкоротших або найдешевших шляхів транспортування лікарських засобів, враховуючи час, витрати та наявність складів;
- використання статистичних методів для передбачення необхідної кількості препаратів у різних регіонах;
- вибір найкращих постачальників з урахуванням вартості, часу доставки та якості продукції;
- визначення найбільш економічно вигідних методів перевезення лікарських засобів з урахуванням митних витрат та обмежень.

Важливу роль у математичному моделюванні відіграють комп'ютерні системи, зокрема, системи комп'ютерної математики (Matlab, MathCad), а також мови програмування (Python, R), які широко застосовуються для аналізу великих обсягів даних та побудови оптимізаційних моделей. Їх використання для побудови математичних моделей розглянуто нами в праці [10].

Для здобувачів вищої освіти спеціальності 226 «Фармація» на першому курсі викладається навчальна дисципліна «Комп'ютерне моделювання у фармації». Метою викладання дисципліни є: розвиток та формування у магістрів фармації компетентності щодо застосування методів математичного моделювання у фармації та статистичної обробки фармацевтичних даних за допомогою комп'ютерних технологій, набуття знань та навичок щодо застосування цифрових інструментів у фармацевтичному дослідженні лікарських засобів, та забезпечення етапності формування цифрової компетентності майбутніх працівників охорони здоров'я України. Зокрема, до робочого навчального плану дисципліни «Комп'ютерне моделювання у фармації» включено тему: «Моделювання задач про оптимальний план виробництва фармацевтичної продукції. Моделювання задач оптимального транспортування фармацевтичної продукції». Здобувачі освіти мають змогу освоїти сучасні інструменти для розв'язання реальних задач фармацевтичної галузі, розвивати навички математичного моделювання, аналізу та оптимізації, що є важливими для їх професійної діяльності.

Розглянемо одну з задач оптимізації використання сировини у виробництві лікарських засобів, яка пропонується здобувачам вищої фармацевтичної освіти на практичних заняттях. Фармацевтичне підприємство повинно виготовити 100 одиниць ліків трьох видів (x_1, x_2, x_3) , але не менше 20 одиниць кожного виду. На виготовлення однієї одиниці ліків x_1, x_2, x_3 відповідно витрачається 4 кг, 3,4 кг, і 2 кг сировини типу А, а її запаси складають 340 кг, а також на виготовлення цих ліків витрачається сировина типу В відповідно по 7,75 кг,

11 кг, і 2 кг і її запаси складають 700 кг. Прибуток, що дає реалізація кожної одиниці ліків складає 40, 30 і 20 грн. Визначити скільки одиниць ліків кожного типу x_1, x_2, x_3 необхідно виготовити для отримання максимального прибутку при умові встановлених запасів сировини («А» та «В»).

Сформулюємо математичну модель задачі: цільова функція, яка оптимізується й обмеження лінійні. Це класична задача лінійного програмування. Продемонструємо розв'язок задачі оптимізації виготовлення ліків в програмі MathCad (рис. 1).

$f(x_1, x_2, x_3) := 40 \cdot x_1 + 30 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3$ f - Цільова функція
 $x_1 := 1 \quad x_2 := 1 \quad x_3 := 1$
Given
 $x_1 \geq 20 \quad x_2 \geq 20 \quad x_3 \geq 20$
 $4 \cdot x_1 + 3.4 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \leq 340$ Пропишемо обмеження
 $4.75 \cdot x_1 + 11 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \leq 700$
 $x_1 + x_2 + x_3 = 100$ Функція *Maximize* визначає максимальний прибуток від реалізації ліків x_1, x_2, x_3
 $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} := \text{Maximize}(f, x_1, x_2, x_3)$ +
 Знаходимо оптимальну кількість одиниць ліків, яка задовільняє обмеженням та дає максимальний прибуток від реалізації
 $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 56 \\ 20 \\ 24 \end{pmatrix}$
 $f(x_1, x_2, x_3) = 3.32 \times 10^3$

Рис. 1 – Моделювання оптимізаційної задачі в MathCad.

Використання *систем комп'ютерної математики (СКМ)*, таких як MathCad, суттєво спрощує розв'язок оптимізаційних задач у фармації. Формально MathCad – це програмне забезпечення для інженерних розрахунків (Engineering Calculation Software), проте, фактично, це інтерактивне середовище для інженерних та наукових обчислень, яке поєднує в собі текстовий редактор і інструменти для виконання математичних операцій [11]. MathCad дозволяє швидко формувати та розв'язувати задачі лінійного та нелінійного програмування. Всі обчислення виконуються автоматично, що мінімізує ризик помилок у розрахунках. У користувача є можливість змінювати вхідні параметри (наприклад, запаси сировини, собівартість тощо) і миттєво отримувати нові результати. Це особливо корисно для моделювання різних сценаріїв виробництва та логістики.

Здобувачам вищої фармацевтичної освіти також пропонується типова транспортна задача, в якій потрібно мінімізувати вартість транспортування товару з кількох складів до кількох споживачів з урахуванням обмежень на кількість товару на складах і потребу споживачів. Розв'язання такої задачі зазвичай здійснюється методом лінійного програмування або через спеціальні методи розв'язання транспортних задач, як, наприклад, *метод північно-західного кута* або *метод потенціалів*. Для розв'язання необхідно скористатись методом потенціалів (метод оптимізації). Цей метод ґрунтується на коригуванні значень транспортних маршрутів таким чином, щоб зменшити загальні витрати.

Маємо такі умови задачі: на трьох складах зберігаються $a_1 = 100$, $a_2 = 200$, $a_3 = 120$ одиниць фармацевтичної продукції одного найменування. Потрібно доставити її трьом споживачам, замовлення яких складають $b_1 = 200$, $b_2 = 110$, $b_3 = 80$ одиниць. Вартість перевезень одиниці продукції зі складу одному споживачу вказані в транспортній таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Вартість перевезень продукції

	$b_1 = 200$	$b_2 = 110$	$b_3 = 80$
$a_1 = 100$	4	2	6
$a_2 = 200$	7	5	3
$a_3 = 120$	1	7	6

Необхідно побудувати план перевезень, який забезпечить мінімальну вартість доставки. Для цього, окрім значень b_1 , b_2 , b_3 , потрібно ввести ще один, фіктивний, пункт призначення b_4 , якому присвоїмо фіктивну за-

явку, що є різницею запасів на складах і потребою вказаної в заявках. Вартість перевезень із всіх пунктів відправки в фіктивний пункт призначення b_4 будемо вважати рівною нулю. Введення фіктивного пункту призначення з його заявкою вирівнює баланс транспортної задачі (табл. 2) і тепер її можливо вирішувати як звичайну транспортну задачу з правильним балансом (кількість перевезеного вантажу позначимо символами $x_1 \dots x_n$ відповідно).

Таблиця 2 – Баланс транспортної задачі

	$b_1 = 200$	$b_2 = 110$	$b_3 = 80$	$b_4 = 30$
$a_1 = 100$	4 x_1	2 x_2	6 x_3	0 x_4
$a_2 = 200$	7 x_5	5 x_6	3 x_7	0 x_8
$a_3 = 120$	1 x_9	7 x_{10}	6 x_{11}	0 x_{12}

Сформулюємо математичну модель задачі та продемонструємо розв'язок транспортної задачі в програмі MathCad.

ORIGIN := 1

$i := 1..12$ $x_i := 1$

Запишемо цільову функцію, яка визначає загальну вартість перевезення

F(x) := $4 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 6 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 7 \cdot x_5 + 5 \cdot x_6 + 3 \cdot x_7 + 0 \cdot x_8 + 1 \cdot x_9 + 7 \cdot x_{10} + 6 \cdot x_{11} + 0 \cdot x_{12}$

Given

$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100$ Запишемо обмеження:

$x_5 + x_6 + x_7 + x_8 = 200$

$x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} = 120$

по кількості заявок на отримання ліків (складемо систему рівнянь, права частина заявки).

$x_1 + x_5 + x_9 = 200$

$x_2 + x_6 + x_{10} = 110$

$x_3 + x_7 + x_{11} = 80$

$x_4 + x_8 + x_{12} = 30$

Обмеження по кількості доставки має бути більше нуля

$x_1 \geq 0$ $x_2 \geq 0$ $x_3 \geq 0$ $x_4 \geq 0$

$x_5 \geq 0$ $x_6 \geq 0$ $x_7 \geq 0$ $x_8 \geq 0$

$x_9 \geq 0$ $x_{10} \geq 0$ $x_{11} \geq 0$ $x_{12} \geq 0$

	1
1	0
2	100
3	0
4	0
5	80
6	10
7	80
8	30
9	120
10	0
11	0
12	0

Minimize(F, x) =

Скористаємось вбудованою функцією Minimize, для знаходження значень $x_1 \dots x_{12}$ при яких $F(x)$ (вартість перевезень) буде мінімальною.

кількість перевезеного товару, при мінімальній вартості транспортування.

$x_1 := 0$ $x_2 := 100$ $x_3 := 0$ $x_4 := 0$

$x_5 := 80$ $x_6 := 10$ $x_7 := 80$ $x_8 := 30$

$x_9 := 120$ $x_{10} := 0$ $x_{11} := 0$ $x_{12} := 0$

Мінімальна вартість перевезень:

$F(x) = 1.17 \times 10^3$

Рис. 2 – Моделювання транспортної задачі в MathCad.

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що для мінімізації вартості перевезень зі складу a_1 доцільно перевозити продукцію лише споживачу $b_2(100)$; зі складу a_2 – споживачу $b_1(80)$, споживачу $b_2(10)$ і споживачу $b_3(80)$; зі складу a_3 – лише споживачу $b_1(120)$. Таким чином всі потреби споживачів задовольнили. На складі a_2 є залишок 30 одиниць продукції. Мінімальна вартість перевезень становить 1170 грошових одиниць.

Для візуалізації результатів моделювання складемо план перевезень (табл. 3).

Таблиця 3 – Оптимальний план перевезень

	b1 = 200	b2 = 110	b3 = 80	b4 = 30
a1 = 100	4 x1 = 0	2 x2 = 100	6 x3 = 0	0 x4 = 0
a2 = 200	7 x5 = 80	5 x6 = 10	3 x7 = 80	0 x8 = 30
a3 = 120	1 x9 = 120	7 x10 = 0	6 x11 = 0	0 x12 = 0

Транспортна задача є класичним прикладом задачі оптимізації, яка має безліч практичних застосувань, зокрема в логістиці, постачанні товарів, управлінні запасами та розподілі ресурсів. Розв'язання таких задач допомагають знайти оптимальні маршрути для мінімізації витрат, що є важливим для зниження загальних операційних витрат підприємств. Залучення математичного моделювання у процес підготовки майбутніх фармацевтів сприяє розвитку аналітичного мислення студентів, формує навички використання комп'ютерних технологій для розв'язання реальних проблем фармації, а також готує майбутніх фахівців до ефективної роботи в умовах сучасної цифрової економіки.

Перспективи подальших досліджень. Подальший розвиток комп'ютерних технологій відкриває перспективи для модернізації процесів виробництва та постачання лікарських засобів, їх раціонального використання для фармацевтичної опіки та підвищення якості медичної допомоги населенню.

В подальших дослідженнях ми будемо працювати над вдосконаленням адаптивних математичних моделей оптимізації, здатних враховувати змінність ринкових умов, логістичні виклики та ресурсні обмеження у фармацевтичній галузі. Також буде перспективним працювати над інтеграцією методів математичного моделювання зі штучним інтелектом для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у виробничих і логістичних процесах. Особливу увагу варто приділити розробці навчальних цифрових платформ і симуляторів, заснованих на реальних кейсах фармацевтичної практики. Такі засоби сприятимуть формуванню у студентів практично орієнтованих навичок аналітичного мислення, оптимізаційного моделювання та прийняття рішень в умовах невизначеності, що є важливою складовою їх професійної підготовки.

Висновки. Математичне та комп'ютерне моделювання у фармації поєднує математичні методи та сучасні комп'ютерні технології для вирішення завдань у фармацевтичній галузі. Воно охоплює математичне моделювання, для створення моделей аналізу та прогнозування поведінки фармацевтичних систем; комп'ютерні технології, для використання програмного забезпечення опрацювання фармацевтичних даних, планування експериментів та контролю якості лікарських засобів; імітаційне моделювання процесів, таких як розробка нових препаратів або оптимізація виробничих процесів. Математичне та комп'ютерне моделювання є незамінним інструментом у фармації, оскільки дозволяє значно підвищити ефективність виробничих та логістичних процесів. Це дозволяє студентам та фахівцям розвивати навички аналізу, прогнозування та прийняття рішень у фармацевтичній практиці. Використання сучасних методів оптимізації сприяє покращенню якості лікарських засобів, зменшенню витрат і забезпеченню стабільного постачання препаратів на ринок. Включення математичного моделювання в освітній процес медичних університетів, зокрема у НМУ імені О. О. Богомольця, дозволяє студентам отримати практичні навички, що є необхідними для роботи у фармацевтичній галузі. MathCad забезпечує можливість вводити математичні вирази, формули, графіки та текст в одному документі, із реалізацією функцій автоматичного виконання обчислень та візуального адаптивного відображення результатів.

Розвиток математичних методів та комп'ютерних технологій відкриває широкі перспективи для оптимізації процесів розробки, виробництва та постачання лікарських засобів і виробів медичного призначення, їх раціонального застосування для фармацевтичної опіки та якості медичної допомоги населенню.

Список літератури

1. Буреннікова Н. В., Зелінська О. В., Ушкаленко І. М., Буренніков Ю. Ю. Оптимізаційні методи та моделі: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 121 с.
2. Мартинюк О. Матеріали для самостійного вивчення курсу «Математичне програмування». – Тернопіль, 2007. – 88 с.
3. Жалдак М. І., Триус Ю. В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. – Черкаси: Брама-Україна, 2005. – 608 с.
4. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С. Математичні моделі підвищення ефективності децентралізованих систем та їх застосування // Проблеми вищої математичної освіти: виклики сучасності. – Вінниця: Вінницький національний політехнічний університет, 2022. – С. 65 – 77.
5. Горбова О. В., Муркович М. С. Дослідження складних процесів на основі поетапного моделювання // Наука та прогрес транспорту. – 2021. – 5(95). – С. 51 – 59. DOI:10.15802/stp2021/252704.
6. Левкін Д. А. Чисельні методи і математичні моделі оптимізації параметрів біотехнологічних процесів // Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В. І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». – Київ, 2022. – №1. – Т.33(72). – С. 128 – 132. DOI: 10.32838/2663-5941/2022.1/21.
7. Сергієнко О. А., Голофаєва І. П., Швець А. Д. Розроблення оптимізованої моделі логістичних ланцюгів постачання-розподілу підприємств // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. – 2019. – № 28. – С. 98 – 105.
8. Чалий О. В., Стучинська Н. В., Меленєвська А. В. Вища математика: навч. посібник для студ. мед. та фарм. навч. закладів. – Львів: Техніка, 2001. – 204 с.

9. Стучинська Н. В., Андрійчук М. Д. Формування фахово спрямованих предметних компетентностей магістрів фармації засобами моделювання ефективності реклами фармацевтичної продукції // Медицина та фармація : освітні дискурси. – 2024. – № 2. – С. 35 – 42. DOI : 10.32782/eddiscourses/2024-2-7.
10. Стучинська Н., Андрійчук М., Микитенко П. Значення математичних моделей SIR та SEIR у формуванні професійних компетентностей майбутніх магістрів фармації // Медицина та фармація : освітні дискурси. – 2025. – №1. – С. 131 – 138. DOI : 10.32782/eddiscourses/2025-1-21.
11. Чалий К., Кривенко І., Андрійчук М. Кінетичне моделювання біохімічних реакцій за допомогою Mathcad analytical toolkit // Медична наука України (МДУ). – 2024. – № 20 (2). – 68 – 78. DOI : 10.32345/2664-4738.2.2024.09.

References (transliterated)

1. Buriennikova N. V., Zelinska O. V., Ushkalenko I. M., Buriennikov Yu. Yu. *Optymizatsiyni metody ta modeli : navchal'nyy posibnyk* [Optimization methods and models: a textbook]. Vinnytsia, VNTU Publ., 2019. 121 p.
2. Martyniuk O. *Materialy dlya samostiyonogo vyvchennya kursu «Matematychnye programuvannya»* [Materials for self-study of the course "Mathematical Programming"]. Ternopil, 2007. 88 p.
3. Zhaldak M. I., Tryus Yu. V. *Osnovy teorii i metodiv optymizatsiyni : Navchal'nyy posibnyk* [Fundamentals of the theory and methods of optimization: Textbook]. Cherkasy, Brama-Ukraina Publ., 2005. 608 p.
4. Horbachuk V. M., Dunaievskyi M. S. *Matematychni modeli pidvyshchennya efektyvnosti detsentralizovanykh system ta yikh zastosuvannya* [Optimization methods and models: a textbook]. *Problemy vyshchoyi matematychnoyi osvity : vyklyky suchasnosti* [Problems of Higher Mathematical Education: Challenges of Modernity]. Vinnytsia, Vinnyts'kyi natsional'nyy politekhnichnyy universytet Publ., 2022. pp. 65–77.
5. Horbova O. V., Murkovych M. S. *Doslidzhennya skladnykh protsesiv na osnovy poetapnogo modelyuvannya* [Research of complex processes based on step-by-step modeling]. *Nauka ta progres transportu* [Science and Transport Progress]. 2021, 5(95), pp. 51–59, DOI :10.15802/stp2021/252704.
6. Levkin D. A. *Chysel'ni metody i matematychni modeli optymizatsiyni parametriv biotekhnologichnykh protsesiv* [Numerical methods and mathematical models of optimization of parameters of biotechnological processes]. *Vcheni zapysky Tavriys'kogo Natsional'nogo Universytetu imeni V. I. Vernadsk'kogo. Seriya : «Tekhnichni nauky»* [Science and Transport Progress]. Kyiv, 2022, no. 1, vol. 33(72), pp. 128–132. DOI : 10.32838/2663-5941/2022.1/21.
7. Serhiienko O. A., Holofaieva I. P., Shvets A. D. *Rozroblennya optymizovanoyi modeli logistychnykh lantsyugiv postachannya-rozpodilu pidpryemstv* [Development of an optimized model of logistics supply-distribution chains of enterprises]. *Naukovyy visnyk Uzhgorodskogo natsional'nogo universytetu. Seriya : Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove gospodarstvo* [Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series: International Economic Relations and World Economy]. 2019, no. 28, pp. 98–105.
8. Chalyi O. V., Stuchynska N. V., Melenevska A. V. *Vyshha matematika : navch. posibnyk dlya stud. med. ta farm. navch. zakladiv* [Higher mathematics: a textbook for students of medical and pharmaceutical educational institutions]. Lviv, Tekhnika Publ., 2001. 204 p.
9. Stuchynska N. V., Andriichuk M. D. *Formuvannya fakhovo spryamovanykh predmetnykh kompetentnostey magistriv farmatsiyni zasobamy modelyuvannya efektyvnosti reklamy farmatsevtichnoyi produktsiyni* [Formation of professionally directed subject competencies of masters of pharmacy by means of modeling the effectiveness of advertising of pharmaceutical products]. *Medytsyna ta farmatsiya : osviti dyskursy* [Medicine and Pharmacy: Educational Discourses]. 2024, no. 2, pp. 35–42. DOI : 10.32782/eddiscourses/2024-2-7.
10. Stuchynska N., Andriichuk M., Mykytenko P. *Znachennya matematychnykh modeley SIR ta SEIR u formuvanni profesiyynykh kompetentnostey maybutnikh magistriv farmatsiyni* [The importance of mathematical models SIR and SEIR in the formation of professional competencies of future masters of pharmacy]. *Medytsyna ta farmatsiya : osviti dyskursy* [Medicine and Pharmacy: Educational Discourses]. 2025, no. 1, pp. 131–138. DOI : 10.32782/eddiscourses/2025-1-21.
11. Chalyi K., Kryvenko I., Andriichuk M. *Kinetychnye modelyuvannya biokhimichnykh reaktsiy za dopomogoyu MathCad analytical toolkit* [Kinetic modeling of biochemical reactions using Mathcad analytical toolkit]. *Medychna nauka Ukrainy (MDU)* [Medical Science of Ukraine (MSU)]. 2024, no. 20 (2), pp. 68–78. DOI : 10.32345/2664-4738.2.2024.09.

Надійшла (received) 13.03.2025

Відомості про авторів / Information about authors

Стучинська Наталія Василівна – доктор педагогічних наук, професор, завідувачка кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ; тел.: (050) 356-60-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-899X>; e-mail: nvstuchynska@gmail.com.

Stuchynska Nataliia Vasylivna – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, Bogomolets National Medical University, Kyiv; tel.: (050) 356-60-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-899X>; e-mail: nvstuchynska@gmail.com.

Андрійчук Марія Дмитрівна – викладач кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ; тел.: (050) 875-55-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0112-3830>; e-mail: amarid1957@gmail.com.

Andriichuk Mariia Dmytrivna – Lecturer at the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, Bogomolets National Medical University, Kyiv; tel.: (050) 875-55-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0112-3830>; e-mail: amarid1957@gmail.com.

Микитенко Павло Васильович – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ; тел.: (093) 940-36-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1188-4334>; e-mail: mikitenko_p@npu.edu.ua.

Mykytenko Pavlo Vasylovych – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, Bogomolets National Medical University, Kyiv; tel.: (093) 940-36-21; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1188-4334>; e-mail: mikitenko_p@npu.edu.ua.