

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-09>

УДК 811.161.2'373.72:070

Акімов Дмитро Дмитрович, аспірант

<http://orcid.org/0000-0003-2440-1864>

Гавриленко Валерій Володимирович, д. фіз.-мат. н., професор

<http://orcid.org/0000-0001-9682-4204>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Акімов Д.Д., Гавриленко В.В.** Розв'язання транспортної задачі в умовах неоднорідності продукції агропромислових підприємств. У статті досліджено сутність транспортної задачі, її мету та завдання, а також методи розв'язання в умовах неоднорідності продукції. Особлива увага приділена агропромисловим підприємствам, де чинники, пов'язані з якістю продукції, строками її придатності та дотриманням режиму вологості під час перевезення, суттєво впливають на логістичні процеси. Специфіка агропромислової продукції полягає в її різноманітності за типами, якістю, термінами зберігання та іншими характеристиками, що створює додаткові виклики для оптимізації логістичних операцій. Важливим аспектом є також інтеграція екологічно безпечних практик у логістичні процеси агропромислових підприємств, що сприяє не лише збереженню якості продукції, але й зменшенню впливу на навколишнє середовище [1]. Використання спеціалізованих програмних комплексів для моделювання логістичних сценаріїв, що враховують всі можливі фактори ризику дозволяють більш ефективно планувати маршрути перевезень [2]. У статті проведено детальний аналіз існуючих методів розв'язання транспортних задач та досліджено проблему оптимізації транспортних витрат у агропромисловому секторі з урахуванням різноманітності продукції. Представлено декілька реальних прикладів, які ілюструють застосування запропонованих методів. Зокрема, розглянуто задачі для різних типів продукції, де враховано не лише транспортні витрати, але й втрати від псування продукції. Окреслено практичні рекомендації щодо вдосконалення логістичних процесів в агропромислових підприємствах з урахуванням неоднорідності продукції, що дозволяє знизити витрати на транспортування та підвищити ефективність постачання. Отримані результати демонструють ефективність запропонованих підходів у зниженні загальних витрат і мінімізації втрат продукції. Ця стаття буде корисною для науковців та практиків, які займаються питаннями логістики і управління в агропромисловому комплексі, а також для фахівців з оптимізації виробничо-транспортних систем.

**Ключові слова:** транспортна задача, агропромислові підприємства, неоднорідність продукції, логістика, оптимальний план розподілу

**Akimov D., Gavrilenko V.** Solving the transportation problem in the conditions of heterogeneity of products of agro-industrial enterprises. The article investigates the essence of the transportation problem, its purpose and objectives, as well as methods of solving it in conditions of product heterogeneity. Particular attention is paid to agro-industrial enterprises, where factors related to product quality, shelf life and compliance with the humidity regime during transportation have a significant impact on logistics processes. The specificity of agricultural products lies in their diversity in terms of types, quality, shelf life, and other characteristics, which creates additional challenges for optimizing logistics operations. An important aspect is also the integration of environmentally friendly practices into the logistics processes of agro-industrial enterprises, which contributes not only to maintaining product quality but also to reducing environmental impact [1]. The use of specialized software systems for modeling logistics scenarios that take into account all possible risk factors allows for more efficient planning of transportation routes [2]. The article provides a detailed analysis of existing methods for solving transportation problems and investigates the problem of optimizing transportation costs in the agricultural sector, taking into account the diversity of products. Several real-life examples are presented to illustrate the application of the proposed methods. In particular, the article considers problems for different types of products, which take into account not only transportation costs but also losses from product spoilage. Practical recommendations for improving logistics processes in agro-industrial enterprises, taking into account product heterogeneity, are outlined, which allows reducing transportation costs and increasing supply efficiency. The results demonstrate the effectiveness of the proposed approaches in reducing overall costs and minimizing product losses. This article will be useful for scientists and practitioners involved in logistics and management in the agro-industrial complex, as well as for specialists in optimizing production and transportation systems.

**Keywords:** transportation problem, agricultural enterprises, product heterogeneity, logistics, optimal distribution plan

**Постановка проблеми.** Процес транспортування є однією з найважливіших складових всіх виробничих та торгівельних процесів будь-якого підприємства. Тому перед багатьма агропромисловими підприємствами стоїть питання вибору оптимального варіанту логістики (перевезення) товарів від пункту виробництва (там, де безпосередньо виготовляються товари) до пунктів споживання (наприклад, у продуктові магазини), з урахуванням усіх реальних можливостей та з мінімальними витратами на це транспортування [3]. Формування та розв'язання транспортної задачі допомагає у вирішенні даного завдання. Особливу складність становить необхідність врахування неоднорідності продукції, що може відрізнятися за типом, якістю, термінами зберігання та іншими характеристиками. Враховуючи ці аспекти, вибір оптимального варіанту логістики для

неоднорідних товарів є надзвичайно актуальним і важливим для забезпечення ефективної роботи агропромислових підприємств.

**Аналіз останніх публікацій.** Багато вчених, здебільшого зарубіжних, таких як Монтлевич В.М., Бородінова І.О., Копфер Х.В., Танг К.С., Марстер Р.С., Фішер М.Л. та ін., розглядали сутність транспортних задач та їх розв'язання саме для неоднорідної продукції. Особливості логістики саме агропромислових підприємств розглянуто у публікаціях українських вчених Радченко О. П., Нечипоренко К. В.

**Постановка завдання.** Метою статті є розгляд транспортних задач в умовах неоднорідності продукції агропромислових підприємств.

**Виклад основного матеріалу.** Перш ніж розглянути транспортні задачі в умовах неоднорідності продукції агропромислових підприємств, дамо визначення, в чому полягає сутність транспортної задачі взагалі.

Транспортна задача – задача, яка ставиться логістами, для знаходження оптимального варіанту доставки товарів з пункту А в пункт Б [4]. Оптимальність в задачі визначається мінімізацією витрат на цю доставку. Це є ключовим завданням, але транспортні задачі також використовують для таких цілей:

- досягнення регулярності вантажних перевезень;
- оптимізація складських запасів;
- зниження собівартості перевезень;
- оптимізація роботи транспорту.

Найчастіше при розгляді дисципліни, пов'язаної з логістикою, студенти розглядають транспортні задачі з однорідними товарами, тоді як на практиці логісти мають справу саме з транспортними задачами в умовах неоднорідності продукції [5].

Одним з варіантів розв'язку транспортної задачі в умовах неоднорідності продукції є її вирішення як єдиної задачі в тому випадку, коли виникає необхідність пошуку базового плану перевезень взаємозамінних видів продукції. В цій ситуації треба це питання вирішувати як єдину задачу, так як в ній різні товари можуть умовно прирівнюватись один до одного через коригуючі коефіцієнти (які переводять умовно один товар в інший). Розв'язання цієї задачі не має принципових відмінностей від вирішення закритої однопродуктової задачі. Існують лише методичні прийоми обробки вихідної інформації [6].

В агропромисловому секторі існує низка специфічних факторів, які впливають на логістичні процеси. Продукція агробізнесу характеризується значною різноманітністю видів, якості та термінів зберігання. Це включає продукти, які мають різні вимоги до температурного режиму, вологості та умов зберігання. Додатково, агропродукція підлягає сезонним коливанням обсягів виробництва та споживання, що ускладнює планування логістичних операцій. Важливим аспектом є також швидке псування багатьох видів продукції, що вимагає швидких та ефективних рішень щодо перевезень. Крім того, агропромислові підприємства часто розташовані в сільській місцевості з обмеженою інфраструктурою, що впливає на доступність і ефективність транспортних мереж. Усі ці фактори вимагають спеціалізованого підходу до розв'язання транспортних задач, який би враховував унікальні умови агропромислового сектору [7].

Такий вчений як Танг К.С. [8] привів наступний спосіб вирішення багатопродуктової транспортної задачі, який розглядається в прикладі 1.

**Приклад 1.** Споживачу потрібно доставити взаємозамінний корм, а саме соя та ячмінь, для худоби. Необхідна умова: загальна потреба в цих двох продуктах в умовних одиницях калорійності повинна бути повністю задоволена. Відомо, що 1 кг умовного корму, що задовольняє в добовій нормі калорійності однієї корови дорівнює 7 000 ккал, 1 кг ячменю – 2 800 ккал, 1 кг сої – 4 200 ккал. Звідси коригуючий коефіцієнт за теплопровідною здатністю (калорійний еквівалент) для ячменю дорівнює:

$$K1 = \frac{2\,800}{7\,000} = 0,4,$$

а для сої:

$$K2 = \frac{4\,200}{7\,000} = 0,6.$$

В таблиці 1.1 представлені потужності та попит ячменю в кілограмах і показано оптимальний план перевезення з функціоналом, який дорівнює  $F1 = 13\,980$ , а в таблиці 1.2 – аналогічні дані для сої з функціоналом  $F2 = 10\,620$ .

За двома планами обсяг перевезення дорівнює:

$$F1 + F2 = 13\,980 + 10\,620 = 24\,600 \text{ (км/кг)}$$

У постачальників  $A$  та  $L_2$  є ячмінь та соя, у постачальника  $A_3$  – тільки ячмінь, а у постачальника  $A_4$  – тільки соя. В обох таблицях відстань між постачальниками  $A$  і  $L_2$  і споживачами однакова, так як ці два види продукції будуть перевозитись один і тим же транспортним шляхом.

Таблиця 1.1. Потужності та попит на ячмінь

$a_i \backslash b_j$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
	100	180	120
$A, 150$	12 100	72	6 050
$L_2, 75$	48	245	4 870
$A_3, 175$	72	36 175	60

Таблиця 1.2. Потужності та попит на сою

$a_i \backslash b_j$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
	60	210	125
$A, 130$	1 260	72	6 070
$L_2, 100$	48	2 445	4 855
$A_4, 165$	36	12 165	72

Використовуючи коригуючі коефіцієнти, розрахованої вище (для ячменю –  $K_1 = 0,4$ , для сої –  $K_2 = 0,6$ ), та дані таблиці 1.1 та 1.2 робимо перерахунок і формулюємо таблицю 1.3, в якій указані дані в умовних (перерахованих) одиницях.

Нижче приведемо пояснення, пов'язані з цим перерахунком:

1. Розрахунок попиту споживачів в умовних одиницях (у.о.) проведемо на прикладі  $B_1$  (див. табл. 1.1 та 1.2). Попит споживача  $B_1$  на ячмінь дорівнює 100 кг, на сою – 60 кг. Використовуючи коригуючі коефіцієнти, розраховуємо його потребу в умовному паливі:

$$B_1 = 100 \cdot 0,4 + 60 \cdot 0,6 = 76$$

2. Потужність постачальника  $A_1$  в умовних одиницях розраховується окремо для кожного виду палива, тому що вона виступає як обмеження на можливий розмір поставок  $k$ -ого виду продукції, який знаходиться у  $j$ -ого постачальника. Потужність розраховується шляхом множення величини потужності постачальника на коригуючий коефіцієнт по ячменю та по сої окремо:

- по ячменю:

$$A_1 = 150 \cdot 0,4 = 60$$

- по сої:

$$A_1 = 160 \cdot 0,6 = 96.$$

3. Показники відстані ( $c_{ij}$  – правий верхній кут в клітинах матриці) в умовних одиницях отримаємо шляхом ділення їх на коригуючі коефіцієнти:

-по ячменю:

$$c_{11} = \frac{12}{0,4} = 30$$

-по сої:

$$c_{11} = \frac{12}{0,6} = 20$$

Після переведення всіх показників матриці в умовні одиниці, як було показано в пунктах 1-3, отримуємо нову матрицю, в якій проводимо перерозподіл умовних одиниць до отримання оптимального варіанту (див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Оптимальний варіант розподілу поставок в умовних одиницях

$a_j$ , у.о.		$b_j$ , у.о.	$B_1$	$B_2$	$B_3$
			76	198	123
A	Ячмінь	60	3 060	150	120
	Соя	78	2 016	100	8 062
L <sub>2</sub>	Ячмінь	30	150	6 029	901
	Соя	60	100	40	6 060
A <sub>3</sub>	Ячмінь	70	180	9 070	150
A <sub>4</sub>	Соя	99	60	2 099	100

Функціонал оптимального плану, виражений в умовних одиницях в таблиці 1.3, складає 20 790. Порівняно з загальним потенціалом минулих таблиць по ячменю та сої, обсяг транспортної роботи в останньому варіанті з умовними одиницями зменшився на 3 810 одиниць, що дає економію по обсягу вантажообігу більш, ніж на 15%.

Як бачимо, що автор, приклад якого описано вище, розглядали продукцію, яку можна привести до умовно одного виду. Тому розглянемо і іншого автора, який розглядав два і більше принципово різних видів продукції (для яких коригуючий коефіцієнт неможливо вирахувати).

Багато авторів, розглядаючи саме багатопродуктові транспортні задачі, беруть за приклад транспортування палива. І такий автор як Копфер Х.В., є не виключенням.

Розглянемо запропонований і цим автором розв'язок наступного прикладу транспортної задачі в умовах неоднорідності продукції.

**Приклад 2 [9].** Морський корабель місткістю 6 560 т з 11 відсіками перевозить і доставляє п'ять різних зернових культур, які не можна змішувати, від пункту їх виробництва до пункту призначення. Добові норми попиту подано наступним чином (в тонах/день):

$$(d_j) = (66, 71, 72, 76, 81)$$

із загальною потребою в 366 т/добу. А місткість відсіків такі:

$$(q_i) = (844, 826, 764, 675, 661, 626, 626, 565, 373, 313, 287) \text{ (в тонах).}$$

Загальний час доставки цих культур і кількість поставок знайдемо далі.

Набір з 11 відсіків буде розділений на п'ять культур і кількість усіх можливих варіантів цього розподілу дорівнює  $29\,607\,600 (5! S_{11}^{(5)})$ .

Динамічне програмування дає наступне рішення:

$$\begin{aligned} &(1217 = q_1 + q_8, 1252 = q_6 + q_7, 1275 = q_4 + q_{10} + q_{11}, 1301 = q_2 + q_8, 1425 = q_3 + q_5) \\ z t = &\frac{1425}{81} = 17,593. \end{aligned}$$

Цей розрахунок здійснений за 1776,51 процесорних секунд на ПК. Існує  $2^{11} - 1 = 2047$  змінних стану і це становить 465135 статичних оцінок.

Автор запропонує наступний алгоритм для пошуку оптимального вирішення цієї проблеми. Так, початковий розв'язок наведено нижче (місткість виділених відсіків і кількість кожної культури).

Це не є структурованим поділом, оскільки поділ набору відсіків не виконується відповідно до їх порядку чи рейтингу. Початковий розв'язок отримується як:

$$(1199 = q_2 + q_9, 1261 = q_5 + q_{10} + q_{11}, 1301 = q_4 + q_7, 1329 = q_3 + q_8, 1470 = q_1 + 6)$$

з часом поповнення  $\frac{1329}{76} = 17,486$  днів.

Нижня межа вартості часу поповнення становить  $t_0 = 17,486$ , і отримано верхню межу  $t_{UB} = \frac{6560}{366} = 17,923$  днів. Домінуюча культура  $j^* = 4$ . Початкові значення  $\mu_j = \frac{1}{366}$  для  $j = 1, 2, 3, 4, 5$  та  $\lambda_i = \frac{q_i}{366}$  для  $i = 1, 2, \dots, 11$ . Розв'язування  $DSP(t_0, X_0)$  і накладення обмеження  $v_4 \leq 0$  дають  $u_0 = 17,761$ . PLP(17,761) розв'язімо спочатку, вирішивши кожну  $SP_j(17,757)$ , перерахувавши всі комбінації відсіків знаходження мінімального рівня розподілу  $A_i \geq td_j$  для кожного  $j = 1, 2, 3, 4, 5$ . Обсяги поставки при  $t = 17,761$  задані таким вектором:

$$(D_j) = (td_j) = (1171,96; 1260,75; 1278,50; 1349,53; 1438,32).$$

Розв'язування кожного  $SP_j(17,761)$  дає мінімальні вимоги до розподілу потужностей для культур;  $(A_j) = (1191, 1261, 1279, 1350, 1439)$ . Домінуюча культура має індекс  $j^* = 2$ . Час поповнення становить 17,761 днів із цими розподілами (якщо це можливо), шляхом повного використання відсіків, відведених для культури  $j = 2$ . Оскільки  $6538 < 6560$  та  $S = \frac{6560 - 6538}{366} > 0$  і умова, за якої відсіки відведені таким чином, що будь-які культури не перекривають відсіки накладається на домінуючий продукт. Розв'язування  $SP_j(17,761)$ , (крім  $j = 2$ ) з цією умовою знову дає мінімальні вимоги до розподілу  $(R_j) = (1191, 1261, 1301, 1390, 1439)$ . Далі  $6582 > 6560$  і  $S = \frac{6560 - 6582}{366} = -0,060$ , тоді  $t_{UB} = 17,761$  і процес буде повторюється з  $t = 17,761 - 0,060 = 17,701$ . Обсяги поставки визначено  $(D_j) = (1168,27; 1256,77; 1274,47; 1345,27; 1433,78)$ .

Таблиця 1.4

$(A_j)$	$(t_j = A_j / d_j)$	$\min(t_j)$	$j^*$
(1157,1251,1261,1335,1424)	(17,560;17,620;17,514;17,566;17,580)	17,514	3
(1157,1251,1275,1335,1424)	(17,560;17,620;17,708;17,566;17,580)	17,530	1
(1165,1251,1275,1335,1424)	(17,652;17,620;17,708;17,566;17,580)	17,566	4
(1165,1251,1275,1336,1424)	(17,652;17,620;17,708;17,579;17,580)	17,579	4
(1165,1251,1275,1347,1424)	(17,652;17,620;17,708;17,524;17,580)	17,580	5
(1165,1251,1275,1347,1425)	(17,652;17,620;17,708;17,524;17,593)	17,593	5
(1165,1251,1275,1347,1426)	(17,652;17,620;17,708;17,524;17,605)	17,605	5
(1165,1251,1275,1347,1439)	(17,652;17,620;17,708;17,524;17,765)	17,620	5

Тоді мінімальні вимоги до розподілу, отриманого розв'язуванням кожного  $SP_j(17,701 + \epsilon)$  за  $(A_j) = (1191, 1261, 1275, 1347, 1439)$ . Час поповнення перераховується як

$$t = \min(18,045, 17,761, 17,708, 17,724, 17,765) = 17,708,$$

і домінуючою культурою є  $j^* = 3$ .  $\sum_{j \in J} A_j = 6513 < 6560$  означає накладення зазначеної умови неперекриття, зазначеної вище, а потім наведено мінімальні вимоги  $(A_j) = (1191, 1287, 1275, 1390, 1450)$  з  $\sum_{j \in J} A_j = 6593$ .  $S = \frac{6560 - 6593}{366} = -0,090$ , і  $t_{UB} = 17,708$  і  $t = 17,708 - 0,090 = 17,618$ . Повторення процесу відбувається наступним чином. Кількість поставок задається вектором

$$(D_j) = (1162,79; 1250,88; 1268,50; 1338,97; 1427,06),$$

а отже мінімальні вимоги до розподілу  $(A_j) = (1165, 1251, 1275, 1347, 1439)$ , отримано за допомогою розв'язування кожного  $SP_j$  (17.618). Час поповнення перераховується і  $t = \min(17,652; 17,620; 17,708; 17,724; 17,765) = 17,620$ . Оскільки  $\sum_{j \in J} A_j = 6477$ , умова неперекриття виконана, і мінімальні вимоги тепер визначаються як  $(A_j) = (1252, 1251, 1287, 1390, 1439)$ .  $\sum_{j \in J} A_j = 6619$  означає, що  $S = \frac{6560-6619}{366} = -0,161$  і  $t_{UB} = 17,620$  але  $t = 17,620 - 0,161 = 17,459 < 17,486$ . Отже, інтервал від 17,486 до 17,620 є інтервалом невизначеності. Вичерпний пошук буде здійснюватися в цей інтервал, як описано нижче.

При  $t = 17486$ ,  $(A_j) = (1157, 1251, 1261, 1329, 1424)$  обчислення часу  $t$  дає  $t = \min(17,530, 17,620, 17,514, 17,486, 17,580) = 17,486$  з  $j^* = 4$ . Таким чином, наступний найменший розподіл до 1329 для культури  $j = 4$  буде отримано розв'язуванням  $SP_4(t + \epsilon)$  і буде дорівнювати 1335. Схоже міркування повторюється, доки  $t$  не стане рівним або перевищить 17,620, і ці результати представлені в таблиці 1.4.

Вже відомо, що немає рішень при  $t = 17,620$ , отже останній інтервал ігнорується. В інтервалі при  $t = 17,605$  будуть визначені можливий розподіл. Можна отримати кілька комбінацій рівнів розподілу, наприклад  $1286 = q_6 + q_8$  або  $1286 = q_7 + q_8$ . Верхній індекс відповідає кількості різних комбінацій відсіків:  $E_1 = \{1191^{(2)}\}$ ,  $E_2 = \{1252\}$ ,  $E_3 = \{1287^{(2)}, 1301^{(2)}\}$ ,  $E_4 = \{1390^{(2)}\}$ , і, нарешті,  $E_5 = \{1426\}$  з  $j^* = 5$ . Помітивши, що  $1191 = q_6 + q_8 = q_7 + q_8$  і  $1252 = q_6 + q_7$ , що означає, що не існує допустимих рішень і інтервал при  $t = 17,593$  тестується далі. Набори відсіків такі:

$$E_1 = \{1165, 1191^{(2)}, 1199, 1217, 1225, 1226^{(2)}\},$$

$$E_2 = \{1251, 1252, 1275, 1286^{(2)}, 1301^{(2)}, 1312^{(2)}\},$$

розподіли для  $j = 3$  знаходяться в наборі  $E_3 = \{1275, 1286^{(2)}, 1301^{(2)}, 1312^{(2)}, 1335\}$  та для  $j = 4$  знаходяться в наборі  $E_4 = \{1361, 1391, 1409, 1426, 1444\}$  і  $E_5 = \{1425\}$ . Цей результат полягає в знаходженні можливих рішень в 108 випробувань і  $t = 17,593$ . Інше оптимальне рішення отримано та наведено нижче. Час виконання цієї задачі становить 32,10 процесорних секунд.

$$(x_{i1}) = (0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)$$

$$A_1 = 1199 \quad D_1 = 17,593 \cdot 66 = 1161,14,$$

$$(x_{i2}) = (0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0)$$

$$A_2 = 1252 \quad D_2 = 17,593 \cdot 71 = 1249,10,$$

$$(x_{i3}) = (0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1)$$

$$A_3 = 1275 \quad D_3 = 17,593 \cdot 72 = 1266,70,$$

$$(x_{i4}) = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)$$

$$A_4 = 1409 \quad D_4 = 17,593 \cdot 76 = 1337,07,$$

$$(x_{i5}) = (0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$A_5 = 1425 \quad D_5 = 17,593 \cdot 81 = 1425,00,$$

Цей графік доставки буде повторений кожні 17.593 днів і культура 5 є домінуючою культурою. Якщо всі можливості в інтервалі (17.486, 17.620) тестуються без цього ефективного методу, кількість перевірених можливостей буде 99792 (= 123 12 · 11 · 21). Запропонована процедура пошуку перевірила лише 108 можливостей. У гіршому випадку це буде перевірка  $2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1 + 8 \cdot 9 + 8 \cdot 5 \cdot 1 = 2880 + 16 = 2896$  випадків, що становить 2,90% від 99792 і це приблизно 0,0098% від усіх 29607600 можливостей.

Обчислювальна робота алгоритму перевіряється шляхом запуску випадково згенерованих проблем, результати якого узагальнено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

n	m	9	10	11	12	13
4	mean	4,11	13,68	27,55	101,52	
	std	1,42	4,01	6,38	27,44	
5	mean	8,39	17,58	53,94	180,14	
	std	4,34	5,67	12,03	117,59	
6	mean		32,81	67,29	350,68	
	std		16,29	52,91	164,48	
7	mean				215,74	399,22
	std				31,54	194,79

Практичні задачі різного розміру генеруються випадковим чином та розв'язуються на ПК. У поколінні випадкових проблем передбачається норма попиту рівномірно розподілених в інтервалі від 20 до 100, і місткість відсіків також уніфікована в інтервалі від 150 до 950. Тоді випадкові числа округляються до найближчого цілого числа. Середнє виконання і його стандартне відхилення для кожної групи з 5 проблем наведено в таблиці 1.5. Через бінарний характер проблем, існує висока мінливість часу виконання. Подальший аналіз регресії означає, що час виконання може бути виражений

як експоненціальна функція від  $n$  (кількість культур) і  $m$  (кількість відсіків) наступним чином:  $\text{час} = 0,0002(1,3198^n)(2,7229^m)$ . Метод знаходить оптимальні рішення (оптимальний час поповнення та оптимальне призначення відсіків для виробу продуктів) задачі. Ронен (1995) вказує на це у використовуваних транспортних засобах з 13 відсіками або менше в нафторозподільних фірмах. Рішення більшого розміру вимагатиме набагато більше пам'яті та швидкість виконання.

**Висновок.** У статті розглянуто сутність та особливості транспортної задачі в умовах неоднорідності продукції, зокрема в агропромисловому секторі. Автори дослідили чинники, що впливають на логістичні процеси, такі як якість продукції, строки її придатності та умови перевезення, що створюють додаткові виклики для оптимізації. Значна увага приділена інтеграції екологічно безпечних практик, які сприяють не лише збереженню якості продукції, але й зменшенню негативного впливу на довкілля. Завдання транспортної задачі полягає в знаходженні оптимального плану доставки продукції, яке забезпечує досягнення мінімальних витрат на транспортування, мінімальних витрат часу тощо. Так яка часто зустрічається на практиці випадки, коли треба транспортувати не один вид продукції, а декілька, то в таких ситуаціях допоможе розгляд багатопродуктової транспортної задачі, два принципово різні підходи розв'язання якої було представлено.

#### Список бібліографічного опису

1. Маргіта Н. О., Білоніжка У. З. Сучасні тенденції впровадження «зеленої» логістики. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2014. № 1. С. 279-284.
2. Величко О. П. Логістика в системі менеджменту підприємств аграрного сектору економіки: Монографія. Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2015. 525 с.
3. Нечипоренко К. В. Проблеми розвитку транспортної логістики сільськогосподарських товаровиробників. *Економічні науки. Серія «Облік і фінанси»*. Збірник наукових праць. Луцький національний технічний університет. Вип. 10(37). Ч. 4. Редкол.: відп. ред. д.е.н., професор Герасимчук З. В. Луцьк, 2013. С. 40-46.
4. Молодід О. К. Транспортна задача: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», спеціалізації «Програмне забезпечення розподілених систем», «Програмне забезпечення Web-технологій та мобільних пристроїв». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 37 с.
5. Наконечний С. І., Савіна С. С. Математичне програмування: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2003. 253 с.
6. Radchenko O. P. Problems and perspectives of the functioning of national logistics systems on agricultural product markets. *Market economy: modern management theory and practice*. 2023. T. 21, № 2(51). С. 126–136.
7. Акімов Д. Д. Застосування технологій інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві. *Computer integrated technologies: education, science, production*. 2023. No 53. С. 9–15. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-02>
8. Tang C. S. A Max-Min Allocation Problem: Its Solutions and Applications. *Operations Research*. 1988. Vol. 36, No. 2. P. 359-367.

9. Kopfer H. W., Kopfer H. Emissions minimization vehicle routing problem in dependence of different vehicle classes. *Dynamics in logistics*. 2013. P. 49-58.

**References:**

1. Margita, N. O., & Bilonizhka, U. Z. (2014). Suchasni tendentsii vprovadzhennia "zelenoi" lohistyky [Modern trends in the implementation of "green" logistics]. *Marketing i menedzhment innovatsii – Marketing and Management of Innovations*, (1), 279-284. [in Ukrainian].
2. Velychko, O. P. (2015). Lohistyka v systemi menedzhmentu pidpriemstv ahrarynoho sektoru ekonomiky: Monohrafiia [Logistics in the management system of enterprises in the agricultural sector of the economy: Monograph]. Dnipro: Aktsent PP. [in Ukrainian].
3. Nechyporenko, K. V. (2013). Problemy rozvytku transportnoi lohistyky silskohospodarskykh tovarovyrobnykiv [Problems of the development of transport logistics of agricultural producers]. *Ekonomichni nauky. Seriia "Oblik i finansy". Zbirnyk naukovykh prats. Lutskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet – Economic Sciences. Series "Accounting and Finance". Collection of Scientific Papers. Lutsk National Technical University*, 10(37), Ch. 4, 40-46. [in Ukrainian].
4. Molodid, O. K. (2018). Transportna zadacha: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 121 "Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia", spetsializatsii "Prohramne zabezpechennia rozpodilenykh system", "Prohramne zabezpechennia Web-tekhnologii ta mobilnykh prystroiv" [Transportation problem: textbook for students majoring in 121 "Software Engineering", specializing in "Software for distributed systems", "Software for Web technologies and mobile devices"]. KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. [in Ukrainian].
5. Nakonechnyi, S. I., & Savina, S. S. (2003). Matematyчне prohramuvannia: navch. posib. [Mathematical programming: textbook]. Kyiv: KNEU. [in Ukrainian].
6. Radchenko, O. P. (2023). Problems and perspectives of the functioning of national logistics systems on agricultural product markets. *Market economy: modern management theory and practice*, 21(2)(51), 126–136.
7. Akimov, D. D. (2023). Zastosuvannia tekhnologii internetu rechei dlia optymizatsii lohistyky v silskomu hospodarstvi [Application of Internet of Things technologies for logistics optimization in agriculture]. *Computer Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (53), 9–15. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-02> [in Ukrainian].
8. Tang, C. S. (1988). A Max-Min Allocation Problem: Its Solutions and Applications. *Operations Research*, 36(2), 359-367.
9. Kopfer, H. W., & Kopfer, H. (2013). Emissions minimization vehicle routing problem in dependence of different vehicle classes. *Dynamics in Logistics*, 49-58.