

**О. Ф. КУЗЬКІН**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри «Транспортні технології»  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0002-3160-1285

**Д. Я. МУКОВСЬКА**

аспірант  
Харківський національний університет імені О. М. Бекетова  
ORCID: 0000-0002-4184-0861

**І. М. РАЙДА**

старший викладач кафедри «Транспортні технології»  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0003-3925-4692

**Л. А. ВЕРЕМЕСЬКО**

старший викладач кафедри «Транспортні технології»  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0002-2397-310X

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПАРКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

*В статті запропоновано оптимізаційний підхід до рішення задачі оперативного управління використанням парку автомобільних транспортних засобів промислового підприємства для виконання заданого плану перевезень вантажів, який формується на підставі заявок споживачів транспортних послуг.*

*Важливою задачею організації перевезень вантажів є вибір ефективних транспортних засобів, які найбільш повно відповідають конкретним умовам перевезень. Техніко-економічні показники роботи автомобіля визначаються організацією перевезення та комплексом його експлуатаційних властивостей: вантажомісткістю, використанням маси, швидкісними характеристиками, безпекою руху, паливною економічністю, довговічністю та надійністю, прохідністю, зручністю використання, пристосованістю до технічного обслуговування і ремонту.*

*Організація перевезень вантажів в умовах транспортного підрозділу промислового підприємства має свої особливості, на відміну від власне автотранспортного підприємства. Основною відмінністю є те, що діяльність транспортного підрозділу спрямована на забезпечення повного виконання вимог на перевезення, які надходять від споживачів транспортної продукції. Цими споживачами є цехи, підрозділи і служби підприємства. Виконання перевезень власним автомобільним транспортом бажано забезпечувати з мінімальними економічними витратами.*

*Зменшити витрати на виконання плану перевезень вантажів, що представлений множиною заявок споживачів транспортних послуг – виробничих підрозділів підприємства, можна шляхом використання технології взаємозамінності на перевезеннях автотранспортних засобів різних типів для перевезення різних типів вантажів та можливості залучення зовнішніх транспортних ресурсів у разі нестачі провізних можливостей власного парку автомобілів або їх неефективного з точки зору техніко-економічних показників використання. Сформульована оптимізаційна задача представляє собою задачу цілочислового лінійного програмування з обмеженнями у вигляді нерівностей та бульовими змінними. Наведено числовий приклад рішення задачі у офісному застосунку MS Excel.*

*Результати статті можуть бути використані в умовах оперативного та короткострокового планування вантажних автомобільних перевезень на промислових підприємствах.*

**Ключові слова:** автомобільний парк, промислове підприємство, експлуатаційні витрати, цілочислове програмування.

O. F. KUZKIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Transport Technologies  
National University Zaporizhzhia Polytechnic  
ORCID: 0000-0002-3160-1285

D. YA. MUKOVSKA

Postgraduate Student  
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv  
ORCID: 0000-0002-4184-0861

I. M. RAIDA

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies  
National University Zaporizhzhia Polytechnic  
ORCID: 0000-0003-3925-4692

L. A. VEREMEIENKO

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies  
National University Zaporizhzhia Polytechnic  
ORCID: 0000-0002-2397-310X

## AN OPTIMIZATION OF OPERATIVE AUTOMOBILE VEHICLE FLEET MANAGEMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

*The paper proposes the optimization method of operative transport fleet distribution by customer's demand in the conditions of the industrial enterprises.*

*One of the main problems in the transportation process planning is the effective choice of vehicles, which are appropriate in specific operating conditions. As is known, the technical and economic characteristics of the vehicle are established by the transportation planning process and vehicle operational properties: carrying capacity and its usage degree, road safety, fuel consumption, durability and reliability, ease of use, maintenance, and repair fitness.*

*Cargo transportation process at the industrial plants has its own features, unlike automobile transport firm. An operational activity of industrial enterprise transport department aims to the complete customer demands satisfaction. As customers, in this case, are departments of the industrial enterprise. Whereas own automobile freight fleet is used on transportations with minimal operational expenses as far as possible.*

*Interchangeability of vehicles that have different types for different cargoes delivery and external transport involving in case of deficit ones give the opportunity to reduce of expenses for transportation plan fulfillment. The given task is formulated as discrete linear programming model with constraints in form of inequalities and binary variables. The numeric example is given that solved by MS Excel computer software.*

*The results of investigation can be used for solving tasks of operational and midterm planning of freight automobile transportations at the industrial plants.*

**Key words:** *automobile freight fleet, industrial enterprise, operational expenses, discrete programming.*

### Постановка проблеми

Важливою задачею організації перевезень вантажів є вибір ефективних транспортних засобів, які найбільш повно відповідають конкретним умовам перевезень. Техніко-економічні показники роботи автомобіля визначаються організацією перевезення та комплексом його експлуатаційних властивостей: вантажомісткістю, використанням маси, швидкісними характеристиками, безпекою руху, паливною економічністю, довговічністю та надійністю, прохідністю, зручністю використання, пристосованістю до технічного обслуговування і ремонту.

Все це у повній мірі відноситься і до автомобілів, що знаходяться у парках власних автомобільних транспортних засобів промислових підприємств. Такі автомобілі виконують різні види перевезень, як у межах промислового підприємства, так і за його межами, обслуговуючи внутрішні та зовнішні вантажопотоки сировини, комплектуючих виробів, готової продукції тощо. Основною задачею автотранспортного підрозділу промислового підприємства є повне та своєчасне задоволення потреб у перевезеннях структурних підрозділів підприємства – цехів, служб, відділів. Економічні показники роботи автотранспортного підрозділу відбиваються на підсумкових показниках роботи підприємства в цілому, тому задачею служби планування перевезень є забезпечення виконання перевезень з мінімальними витратами за умови як можна повного виконання всіх заявок на перевезення, що надійшли від споживачів транспортних послуг.

Умови формування обсягів вимог на перевезення, провізні спроможності транспортних засобів та управління їх використанням визначають процеси накопичення вантажів у транспортних системах. Практика підтверджує

ефективність постійного закріплення парків транспортних засобів, сформованих у автомобільні колони (бригади), за окремими об'єктами перевезень. Це дозволяє краще узгоджувати дії всіх учасників транспортного процесу, створює сприятливі умови для їх роботи [1].

Парк транспортних засобів автотранспортного підприємства, що обслуговує будь-який заданий об'єкт, характеризується кількістю, спеціалізацією та вантажопідйомністю одиниць рухомого складу, призначених для виконання перевезень. Максимальна кількість вантажів, яка може бути перевезена парком транспортних засобів за заданий період часу (зміна, доба) при повному використанні технічних можливостей, визначає його провізну спроможність. За умовами використання транспортних засобів для обслуговування об'єктів розрізняють парки транспортних засобів, постійно закріплені за об'єктами перевезень; закріплені, але у відповідності до варіювання обсягів перевезень та управління запасами і використовуваними і на інших об'єктах; незакріплені [1].

Втім, організація перевезень вантажів в умовах транспортного підрозділу промислового підприємства має свої особливості, на відміну від власне автотранспортного підприємства. Основною відмінністю є те, що діяльність транспортного підрозділу спрямована на забезпечення повного виконання вимог на перевезення, які надходять від споживачів транспортної продукції. Цими споживачами є цехи, підрозділи і служби підприємства. Виконання перевезень власним автомобільним транспортом бажано забезпечувати з мінімальними економічними витратами.

Наприклад, на ПАТ «Запоріжсталь» власний парк автомобільних транспортних засобів сконцентрований у його управлінні автомобільного транспорту (УАТ). УАТ поділяється на чотири автомобільні колони. У першій вантажній колоні налічується 87 автомобілів з яких: універсальні бортові автомобілі – 14 од., спеціалізовані (самоскиди, тягачі, фургони) – 39 од., спеціальні автомобілі (автокрани, автопідйомники, цистерни) – 34 од. Усі автомобілі призначені для задоволення попиту на перевезення вантажів за разовими вимогами виробничих підрозділів (цехів).

У разі необхідності перевезень вантажів замовник у корпоративній автоматизованій системі управління формує і направляє заявку в УАТ до 13:00 дня, що передує даті запланованого надання автотранспорту для перевезень. У заявці зазначається місце і час подачі автомобіля, тип автомобіля, маршрут руху, найменування, маса і габаритні розміри вантажу. Заявка задовольняється виділенням автомобілів з числа технічно готових. Зазначимо також, що деякі заявки залишаються нереалізованими (невиконаними) через відмову від перевезення виробничих підрозділів чи через нестачу необхідних автомобілів у парку. Крім того, враховуючи специфіку виробництва, існує практика подання оперативних замовлень, тому кількість виділеного транспорту може перевищувати кількість, замовлену у заявці. Таким чином, ця частина парку автомобільної колони працює в умовах випадкового попиту на перевезення.

Особливості функціонування парку автомобільного транспорту промислового підприємства та форм використання автомобілів для обслуговування його виробничих підрозділів необхідно враховувати при оперативному плануванні його роботи з метою повного задоволення попиту та мінімізації витрат на виконання перевезень вантажів.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Задача оптимального управління використанням провізних спроможностей наявного парку рухомого складу є однією з типових та розповсюджених практичних задач, яка вирішується на тактичному та операційному рівні автотранспортними підприємствами усіх форм власності, що надають транспортні послуги з перевезення вантажів. Для вирішення цієї задачі науковцями розроблено низку математичних моделей дослідження операцій та методів оптимізації з метою підвищення рівня якості надання транспортних послуг споживачам [2]. В огляді [3] подана загальна класифікація задач оптимізації структури парку рухомого складу, його використання на перевезеннях та методи розв'язку цих задач.

У роботі [1] запропонований підхід до оптимізації провізних спроможностей парку автомобільних транспортних засобів, побудований на методах лінійного програмування. Задачу сформульовано у вигляді задачі цілочислового програмування з обмеженнями на кількість наявних транспортних засобів та задані обсяги перевезень вантажів. У якості цільової функції запропоновано використання мінімізації сумарних витрат на перевезення або вантажопідйомності автомобілів чи максимізації прибутку від виконання перевезень.

Метод динамічного програмування та пошуку методом золотого перетину стосовно задачі оптимізації структури гетерогенного парку автомобілів наведено у роботі [4]. При цьому в цільову функцію включено витрати трьох видів: постійні та змінні витрати на утримання власного парку автомобілів, витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів у випадку нестачі його провізної спроможності. Обмеженням виступає наявна кількість автомобілів власного парку. Для аналогічної задачі з урахуванням маршрутизації транспортних засобів у роботі [5] пропонується використання метаевристичного алгоритму табу-пошуку.

Практична задача оптимізації структури парку автомобілів при доставці палива розглянута у [6]. Задача представлена у вигляді однокритеріальної задачі математичного програмування, у якій в якості критерію оптимальності прийнято мінімальні сумарні експлуатаційні витрати на утримання та експлуатацію автопарку. Наближене рішення задачі пропонується відшукувати за допомогою евристичних методів, що базуються на методах локального пошуку, еволюційних та гібридних алгоритмів. Подібна задача для умов випадкового попиту на перевезення

розглянута у [7]. Для пошуку її оптимального рішення розроблено метод, заснований на методах лінійного програмування, динамічного програмування та комбінаторної оптимізації (метод «відгалужень і меж»).

У роботі [8] пропонується використання нелінійної оптимізаційної моделі визначення структури парку транспортних засобів, що використовуються для доставки відправлень одержувачам в міських умовах. Особливістю моделі є врахування часових обмежень на використання тих чи інших транспортних засобів з точки зору їх можливого доступу до окремих районів міста під час доставки. Модель містить нелінійну цільову функцію, лінійні та мультиплікативні обмеження на змінні, для її розв'язування, використано програмний продукт Gurobi Solver 6.0.

Задачу розподілу наявного парку транспортних засобів між вантажовідправниками та вантажоодержувачами розглянуто у роботі [9]. Математично задачу сформульовано у вигляді задачі лінійного програмування, критерієм оптимальності якої є мінімальна сумарна вантажопідйомність автомобілів, використаних для перевезень. У разі, якщо провізних можливостей наявного парку автомобілів недостатньо для повного задоволення попиту на перевезення, пропонується знаходити оптимальне рішення за двома варіантами: залучення додаткових транспортних засобів або зменшення планових обсягів перевезень. У останньому випадку в якості критерію оптимальності рекомендується використовувати мінімум відхилення фактичних обсягів перевезень у абсолютних або відносних, з урахуванням цінності клієнтів, одиницях.

Використання вищевикладених підходів до оптимізації структури автомобільного парку та розподілу транспортних засобів за об'єктами перевезень є суттєво обмеженим в умовах парків власного автомобільного транспорту промислових підприємств, що працюють за разовими вимогами їх виробничих підрозділів з декількох причин.

Як показав аналіз виконання плану перевезень в управлінні автомобільного транспорту ПАТ «Запоріжсталь», автомобілі по разових заявках цехів виділяються на цілу зміну, у зв'язку з цим їх продуктивність має значні коливання в залежності від об'єкту та умов перевезень вантажу. Крім того, перевезення деяких видів вантажів можуть бути з різною ефективністю виконані різними типами рухомого складу. Наприклад, перевезення цегли можна здійснити як універсальним бортовим автомобілем, так і автомобілем-самоскидом, при цьому витрати на перевезення у другому випадку будуть дещо більшими, ніж у першому, але все ж меншими ніж утримання додатково зайвого бортового автомобіля. У той же час, перевезення довгомірних вантажів можуть бути виконані тільки спеціалізованим рухомим складом, призначеним для перевезення довгомірів. У свою чергу, автомобілі для перевезення довгомірних і важковагових вантажів можуть бути з меншою ефективністю використані для перевезення інших тарно-штучних вантажів.

#### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка економіко-математичної моделі оптимального розподілу автомобільних транспортних засобів по заявках споживачів транспортних послуг в умовах промислового підприємства та її практичної реалізації, яка враховує взаємозамінність автотранспортних засобів різних типів для перевезення різних типів вантажів та можливість залучення зовнішніх транспортних ресурсів у разі нестачі провізних можливостей власного парку автомобілів або їх неефективного з точки зору техніко-економічних показників використання.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі:

- розробити та формалізувати економіко-математичну модель оптимального розподілу автомобілів парку промислового підприємства по заявках споживачів транспортних послуг;
- на підставі фактичних даних промислового підприємства виконати числові розрахунки з оптимізації добового плану перевезень вантажів в умовах металургійного підприємства ПАТ «Запоріжсталь».

#### Викладення основного матеріалу дослідження

При обслуговуванні споживачів, заявки на виділення автомобілів мають випадковий характер, виникає комплексна задача оптимального закріплення транспортних засобів, що виконують ці заявки, та управління залученням додаткових транспортних засобів, а також використання надлишкових.

Для формулювання економіко-математичної моделі задачі розподілу автомобільних транспортних засобів введемо такі позначення:

$N$  – кількість типів автомобілів, що можуть бути використані для перевезення вантажів (наприклад, універсальні бортові, автосамоскиди тощо);

$M$  – кількість видів вантажів, що можуть бути пред'явлені до перевезення (наприклад, тарно-штучні, навалочні, сипкі тощо);

$K$  – кількість груп автомобілів за вантажопідйомністю. Нумерацію груп автомобілів за вантажопідйомністю виконуємо у порядку зростання останньої;

$q_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, K}$ ) – вантажопідйомність власного автомобіля  $i$ -го типу  $j$ -ї групи вантажопідйомності, т;

$a_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, K}$ ) – наявна кількість автомобілів  $i$ -го типу  $j$ -ї групи вантажопідйомності у парку власних автомобілів.

Замовлення на виділення автомобілів на плановий період (доба, зміна) представляють собою множину  $R = \{r_k\}_P$ , де кожна заявка  $r_k = \{q_k; w_k\}$  ( $k = \overline{1, P}$ ,  $w_k \in M$ ) в якості атрибутів містить масу вантажної партії, заявленої до перевезення  $q_k$  (приведену до вантажопідйомності автомобіля в залежності від класу вантажу) та вид вантажу  $w_k$ . При цьому передбачається, що  $q_{ik}^a \geq \max q_k$ , тобто заявлена для перевезення вантажна партія максимальної маси може бути перевезена автомобілями найбільшої групи за вантажопідйомністю.

Введемо також позначення:

$c'_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, K}$ ) – вартість експлуатації автомобіля  $i$ -го типу  $j$ -ї групи вантажопідйомності протягом планового періоду, грн.;

$c''_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, K}$ ) – вартість простою автомобіля  $i$ -го типу  $c''_{ij}$ -ї групи вантажопідйомності протягом планового періоду, грн. Виражає витрати на утримання автомобіля протягом планового періоду, якщо він не був використаний для перевезень, грн.;

$c'''_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, K}$ ) – витрати на залучення для перевезень автомобіля  $i$ -го типу  $j$ -ї групи вантажопідйомності ззовні протягом планового періоду, грн. Передбачається, зовнішнє джерело залучення автомобілів для перевезень є необмеженим за своїми можливостями та має таке ж групування за вантажопідйомностями, як і автомобілі власного парку;

$\gamma_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, M}$ ) – показник, який виражає можливість використання автомобіля  $i$ -го типу для перевезення вантажу  $j$ -го виду. При цьому  $\gamma_{ij} = 1$ , якщо автомобілі  $i$ -го типу можуть перевозити вантажі  $j$ -го виду або  $\gamma_{ij} = \mathbf{M}$  у протилежному випадку (тут  $\mathbf{M}$  – достатньо велике додатне число).

При складанні плану перевезень враховуємо наступне:

- а) відкладений попит не дозволяється, тобто, всі замовлення на перевезення повинні бути задоволені власними або залученими ззовні автомобілями;
- б) на виконання кожного замовлення виділяється лише один автомобіль.

Нехай  $x_{ijk}$  – шукані змінні задачі, які дорівнюють  $x_{ijk} = 1$ , якщо для виконання  $i$ -го замовлення призначається автомобіль  $j$ -го типу  $k$ -ї групи вантажопідйомності або  $x_{ijk} = 0$  у протилежному випадку. За такого позначення змінних їх загальна кількість у задачі дорівнюватиме  $i \times 2 \times N \times K$ . Половина змінних  $x_{ijk}$  ( $i = \overline{1, P}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ) визначає виконання заявок, які надійшли, автомобілями власного парку, інша ж половина змінних  $x_{ijk}$  ( $i = \overline{1, P}$ ,  $j = \overline{1, N}$ ,  $k = \overline{K+1, 2K}$ ) – автомобілями, залученими ззовні.

Цільова функція – мінімум витрат на виконання замовлень споживачів, тобто:

$$Z = C_1 + C_2 + C_3 \rightarrow \min, \tag{1}$$

де  $C_1$  – витрати, пов'язані з використанням на перевезеннях автомобілів власного парку, грн.;

$C_2$  – витрати, пов'язані з непродуктивним простоем автомобілів власного парку, грн.;

$C_3$  – витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів, грн.

Витрати, пов'язані з використанням на перевезеннях автомобілів власного парку розраховуються за формулою:

$$C_1 = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K c'_{jk} \cdot \gamma_{ij} \cdot x_{ijk}. \tag{2}$$

Витрати, пов'язані з непродуктивним простоем автомобілів власного парку розраховуються за формулою:

$$C_2 = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \left[ a_{jk} - \sum_{i=1}^P x_{ijk} \right] \times c''_{jk}. \tag{3}$$

Витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів розраховуються за формулою:

$$C_3 = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{k=K+1}^{2K} c_{jk}^m \cdot \gamma_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (4)$$

Сформулюємо обмеження задачі:

а) вантажопідйомність автомобіля, виділеного для перевезення вантажу, повинна бути не менше, ніж маса вантажної партії, тобто

$$x_{ijk} = 0 \quad \forall q_{ik} < q_i, \quad i = \overline{1, P}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}; \quad (5)$$

б) на виконання заявки не може бути виділений автомобіль, що не призначений для перевезення даного вантажу

$$x_{ijk} = 0 \quad \forall i: \gamma_{jw} = \mathbf{M} \mid i = \overline{1, P}, j = \overline{1, N}, w_i \in \mathbf{M}; \quad (6)$$

в) на виконання кожної заявки замовника може бути залучений тільки один автомобіль

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{2K} x_{ijk} = 1, \quad i = \overline{1, P}; \quad (7)$$

г) кількість автомобілів власного парку кожного з типів та вантажопідйомності не повинна перевищувати їх наявної кількості на підприємстві

$$\sum_{i=1}^P x_{ijk} \leq a_{jk}, \quad j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}. \quad (8)$$

Сформульована оптимізаційна задача з цільовою функцією (1) та обмеженнями (2)–(8) є задачею цілочислового лінійного програмування, а точніше – задачею цілочислового лінійного програмування з бульовими змінними (тобто такими, що набувають значень тільки 0 або 1) [10]. Однак, зважаючи на характер обмежень (7) та (8) можна стверджувати, що оптимальний розв’язок задачі, якщо він існує, у будь-якому випадку буде задовольняти умові невід’ємності та бульовості змінних. Тож, для розв’язання цієї задачі можна застосувати симплекс-метод.

Реалізація пошуку розв’язку задачі симплекс-методом була розроблена у табличному процесорі Microsoft Excel з використанням пакету аналізу та процедури «Пошук рішення». Фрагмент робочого листа Excel наведено на рис. 1.

Розглянемо приклад оптимізації розподілу рухомого складу автомобільного парку по заявках споживачів за таких вихідних даних.

1. Парк рухомого складу транспортного підрозділу підприємства включає в себе автомобілі трьох типів: універсальні бортові, автосамоскиди, автомобілі для перевезення довгомірних вантажів. Кількість автомобілів кожного типу у парку та їх вантажопідйомність наведена у табл. 1.

Кількість та якість структури парку автомобілів				Випрати на досліджуваному парку				Випрати на протей парку				Випрати на загальному автомобільному транспорті району			
Тип автомобілів	Кількість автомобілів у парку на підприємстві	5 т	10 т	Тип автомобілів	Випрати на досліджуваному парку	5 т	10 т	Тип автомобілів	Випрати на протей парку	5 т	10 т	Тип автомобілів	Випрати на загальному автомобільному транспорті району	5 т	10 т
Самоскид	1	1	2	Самоскид	1120	2000	2100	Самоскид	400	1700	1700	Самоскид	1200	2200	2300
Бортовий	0	2	2	Бортовий	1120	2000	2100	Бортовий	1200	1800	2100	Бортовий	1300	2300	2300
Вантажівка	0	1	1	Вантажівка	1120	2115	2400	Вантажівка	1200	1800	2100	Вантажівка	1300	2300	2300

  

Вид	Група	Кількість
Самоскид	1	1
Бортовий	2	2
Вантажівка	1	1

  

№ заявки	Маса партії, т	Група вантажу	Бортові - якість				Самоскиди - якість				Довгомірні - якість				Бортові - наявність				Самоскиди - наявність				Довгомірні - наявність				
			5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	
1	0,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4,1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8,0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	18,0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	12,8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	16,6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20,0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Сума</b>			0	0	2	0	3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Резерв</b>			1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

  

C1	21159	Випрати на досліджуваному авт.
C2	6490	Випрати на протей авт.
C3	2330	Випрати на загальному автомобільному авт.
<b>C</b>	<b>27649</b>	Обсяг вантажу

Рис. 1. Фрагмент робочого листа Microsoft Excel для побудови оптимального плану розподілу автомобілів по заявках споживачів

Таблиця 1

## Кількісна та якісна структура парку автомобілів

Тип автомобіля	Кількість автомобілів у парку вантажопідйомністю		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$q_{i3} = 15,0$ т.
1. Бортовий ( $i = 1$ )	1	2	2
2. Самоскид ( $i = 2$ )	2	3	1
3. Довгомір ( $i = 3$ )	1	1	1

2. Планується перевезення вантажів трьох видів (тарно-штучні, навалочні та довгомірні) згідно заявок підрозділів підприємства, що наведені у табл. 2.

Таблиця 2

## Заявки на перевезення вантажів, що надійшли до транспортного підрозділу

Номер заявки	Вид вантажу	Маса вантажної партії, т.
1	довгомірний	0,6
2	тарно-штучний	17,5
3	довгомірний	6,3
4	навалочний	8,0
5	довгомірний	16,0
6	тарно-штучний	4,2
7	навалочний	13,8
8	тарно-штучний	16,6
9	тарно-штучний	9,9
10	тарно-штучний	10,1

3. Передбачається, що будь-який з тарно-штучних вантажів може перевозитись автосамоскидами або довгомірами, навалочні вантажі – лише самоскидами, довгомірні вантажі – лише автомобілями-довгомірами.

4. Для виконання заявок автомобілі виділяються на цілу зміну. Змінні витрати на експлуатацію та простій автомобілів власного парку (величини вартісних даних умовні) наведені у табл. 3.

Таблиця 3

## Змінні витрати на експлуатацію та простій автомобілів власного парку

Тип автомобіля	Змінні витрати на експлуатацію автомобілів власного парку (чисельник) та їх простій протягом зміни (знаменник), грн./зміну		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$i = 1$ т.
1. Бортовий ( $i = 1$ )	1150 / 800	1900 / 1725	2100 / 1780
2. Самоскид ( $i = 2$ )	1320 / 1120	2080 / 1920	2384 / 2100
3. Довгомір ( $i = 3$ )	1410 / 1290	2115 / 1890	2480 / 2100

5. Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів такої ж вантажопідйомності наведені у табл. 4.

Таблиця 4

## Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів

Тип автомобіля	Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів, грн./зміну		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$q_{i3} = 15,0$ т.
1. Бортовий ( $i = 1$ )	1280	2275	2330
2. Самоскид ( $i = 2$ )	1585	2200	2680
3. Довгомір ( $i = 3$ )	1590	2345	2710

У таблиці 5 наведені змінні витрати на виконання заявок з урахуванням можливої взаємозамінності вантажів, що представляють собою добуток  $c'_{jk}\gamma_{ij}$  для автомобілів власного парку або  $c'''_{jk}\gamma_{ij}$  для автомобілів, що можуть бути залучені ззовні. Буквою **M** у табл. 5 позначене достатньо велике число.

Результат оптимізації, отриманий за допомогою Microsoft Excel наведений у табл. 6. У цій таблиці одиниці позначають виділення автомобілів відповідної вантажопідйомності для виконання відповідних заявок. Таким

Таблиця 5

**Змінні витрати на експлуатацію автомобілів власного парку та залучених ззовні на виконанні заявок споживачів**

№ заявки	Маса партії, т.	Автомобілі власного парку									Автомобілі, залучені ззовні								
		бортові			самоскиди			довгоміри			бортові			самоскиди			довгоміри		
		5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.
1	0,6	М	М	М	М	М	М	1410	2115	2480	М	М	М	М	М	М	1590	2345	2710
2	17,5	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710
3	6,3	М	М	М	М	М	М	М	2115	2480	М	М	М	М	М	М	М	2345	2710
4	8,0	М	М	М	М	2080	2384	М	М	М	М	М	М	2200	2680	М	М	М	М
5	16,0	М	М	М	М	М	М	М	М	2480	М	М	М	М	М	М	М	М	2710
6	4,2	1150	1900	2100	1320	2080	2384	1410	2115	2480	1280	2275	2330	1585	2200	2680	1590	2345	2710
7	13,8	М	М	М	М	М	2384	М	М	М	М	М	М	М	М	2680	М	М	2710
8	16,6	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710
9	9,9	М	1900	2100	М	2080	2384	М	2115	2480	М	2275	2330	М	2200	2680	М	2345	2710
10	10,1	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710

чином, мінімальні витрати на перевезення складають  $Z_{min} = 27649$  грн., з яких  $C_1 = 18829$  грн. це витрати на експлуатацію автомобілів власного парку;  $C_2 = 6490$  грн. – витрати на непродуктивний простій автомобілів власного парку;  $C_3 = 2330$  грн. – витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів.

Таблиця 6

**Оптимальний план розподілу автомобілів за заявками споживачів**

№ заявки	Маса партії, т.	Автомобілі власного парку									Автомобілі, залучені ззовні								
		бортові			самоскиди			довгоміри			бортові			самоскиди			довгоміри		
		5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.
1	0,6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	6,3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8,0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4,2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13,8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	16,6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Наявні автомобілі		1	2	2	2	3	1	1	1	1									
Задіяні автомобілі		0	0	2	0	3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Надлишок автомобілів		1	2	0	2	0	0	0	0	0									

Оптимальний план перевезень потребує залучення одного бортового автомобіля вантажопідйомністю 20 т., при цьому низка власних автомобілів не використовуються: один бортовий автомобіль вантажопідйомністю 5 т., два бортових автомобілі вантажопідйомністю 10 т., два самоскиди вантажопідйомністю 5 т.

Зауважимо також, що оптимальний план передбачає перевезення тарно-штучного вантажу за заявкою № 6 (маса вантажної партії 4,2 т.) та № 9 (маса вантажної партії 9,9 т.) власними автомобілями-самоскидами вантажопідйомністю 10 т. Передбачається також залучення ззовні одного бортового автомобіля вантажопідйомністю 20 т. для виконання заявки № 10 (тарно-штучний вантаж масою 10,1 т.).

**Висновки**

В статті формалізовано задачу оптимального розподілу автомобілів транспортного підрозділу промислового підприємства по заявках споживачів. Модель задачі враховує можливість виконання замовлень споживачів різними типами рухомого складу, що є у наявності у транспортному підрозділі, а також можливість залучення зовнішніх транспортних засобів для виконання плану перевезень. Критерієм оптимальності є мінімум загальних витрат на реалізацію плану перевезень, що є сумою витрат на експлуатацію автомобілів власного парку, витрат на непродуктивний простій



автомобілів власного парку та витрат на залучення зовнішніх транспортних засобів. Для розв'язання задачі розроблено розрахункову таблицю засобами Microsoft Excel 2013 з використанням надбудови «Пошук рішення». Наведено числовий приклад розрахунку та поданий його аналіз. Результати роботи можуть бути використані при оперативному і короткостроковому плануванні перевезень в умовах автотранспортних підрозділів промислових підприємств.

#### Список використаної літератури

1. Дмитриченко В. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В., Докуніхін В. З. Основи теорії транспортних процесів і систем : навчальний посібник. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.
2. Bielli M., Bielli A., Rossi R. Trends in models and algorithms for fleet management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2011. Vol. 20. P. 4–18.
3. Hoff A., Andersson H., Hasle G., Lokketangen A. Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*. 2010. Vol. 37, № 12. P. 2041–2061.
4. Loxton R., Lin Q. Optimal fleet composition via dynamic programming and golden section search. *Journal of Industrial and management optimization*. 2011. Vol. 7, № 4. P. 875–890.
5. Wang Q., Li Q., Chiu C.H. Optimal routing for heterogeneous fixed fleets of multicompartment vehicles. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. Vol. 2014. P. 1–11.
6. Redmer A., Zak J., Sawicki P., Maciejewski M. Heuristic approach to fleet composition problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 54. P. 414–427.
7. Zhang Y. Li J. Dynamic optimal model of vehicle fleet size and exact algorithm. *Systems Engineering-Theory & Practice*. 2007. Vol. 27, № 2. P. 83–91.
8. Pinto R., Lagorio A., Golini R. Urban Freight Fleet Composition Problem. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51(11). P. 582–587.
9. Харченко О. І., Сакаль О. М., Карапиш А. С. Оптимізація розподілу рухомого складу при перевезеннях вантажів автомобільним транспортом. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2023. № 26. С. 92–98.
10. Кузькін О. Ф., Лашених О. А., Турпак С. М. Прикладні задачі дослідження операцій в транспортних системах: навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. 371 с.

#### References

1. Dmytrychenko V. F., Jackivskyj L. Ju., Shyrjajeva S. V., Dokunikhin V. Z. (2009) *Osnovy teorii transportnykh procesiv i system* [Fundamentals of the theory of transport processes and systems]. Kyjiv: Vydavnychyj Dim «Slovo». (in Ukrainian).
2. Bielli M., Bielli A., Rossi R. (2011) [Trends in models and algorithms for fleet management]. [*Procedia-Social and Behavioral Sciences*], vol. 20, pp. 4–18.
3. Hoff A., Andersson H., Hasle G., Lokketangen A. (2010) [Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing]. [*Computers & Operations Research*], vol. 37, no. 12, pp. 2041–2061.
4. Loxton R., Lin Q. (2011) [Optimal fleet composition via dynamic programming and golden section search]. [*Journal of Industrial and management optimization*], vol. 7, no. 4, pp. 875–890.
5. Wang Q., Li Q., Chiu C.H. (2014) [Optimal routing for heterogeneous fixed fleets of multicompartment vehicles]. [*Mathematical Problems in Engineering*], vol. 2014, pp. 1–11.
6. Redmer A., Zak J., Sawicki P., Maciejewski M. (2012) [Heuristic approach to fleet composition problem]. [*Procedia-Social and Behavioral Sciences*], vol. 54, pp. 414–427.
7. Zhang Y. Li J. (2007) [Dynamic optimal model of vehicle fleet size and exact algorithm]. [*Systems Engineering-Theory & Practice*], vol. 27, no. 2, pp. 83–91.
8. Pinto R., Lagorio A., Golini R. (2018) [Urban Freight Fleet Composition Problem]. [*IFAC-PapersOnLine*], vol. 51(11), pp. 582–587.
9. Kharchenko O. I., Sakalj O. M., Karapysh A. S. (2023) *Optyimizacija rozpodilu rukhomogho skladu pry perevezennjakh vantazhiv avtomobilnym transportom*. [Optimization of the dry warehouse section when transporting goods by road]. *Transportni systemy ta tekhnologhiji perevezenj*. [Transport systems and transportation technologies], no. 26, pp. 92–98.
10. Kuzkin O. F., Lashhenykh O. A., Turpak S. M. (2013) *Prykladni zadachi doslidzhennja operacij v transportnykh systemakh*. [Applied tasks of monitoring operations in transport systems]. Zaporizhzhja: ZNTU. (in Ukrainian).