

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

УДК 656.13

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСТАВКИ ШВИДКОПСУВНИХ  
ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЯМИ ШЛЯХОМ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ РУХУ  
ВІД ПОСТАЧАЛЬНИКА ДО СПОЖИВАЧА**

*Артамонова Ю.В., Гармаш О.Г., Хрипуненко Г.В.,*

*Автомобільно-дорожній інститут державного вищого навчального закладу  
«Донецький національний технічний університет»*

*Здійснено вибір методики розрахунку найкоротшої відстані між пунктами з метою мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем, проведено уточнення обраної методики шляхом мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем з урахуванням дорожніх умов для підвищення ефективності доставки.*

*Ключові слова: швидкопсувний продукт, динамічне програмування, швидкість, позовжній ухил, радіус кривої в плані, час руху.*

**Вступ.** Серед усього переліку продовольчих продуктів, більшу частину становлять продукти, які можна віднести до категорії швидкопсувних. Номенклатура швидкопсувних харчових продуктів (ШХП) досить значна й різноманітна не тільки за кількістю, але й за вимогами до їхнього перевезення. Дані обставини вказують на певну специфіку, що виділяє їх серед інших продуктів харчування. Ця специфіка полягає в необхідності якнайшвидше доставити ШХП від виробника до споживача, тому що в такий спосіб забезпечується якість продукції, яка доставляється, й від цього прямо залежить безпека населення. Адже, як відомо, недотримання необхідних норм перевезення будь-якого швидкопсувного продукту може привести до того, що він перейде з розряду швидкопсувних у розряд небезпечних для здоров'я, а в ряді випадків і для життя людей.

Таким чином, діяльність з доставки ШХП за своєю значимістю може бути віднесена до актуальної. Це приводить до необхідності розгляду, аналізу й рішення існуючих проблем у зазначеній області.

Істотним фактором, що визначає ефективність доставки швидкопсувних продуктів, є своєчасність доставки, тобто максимальне збереження якості ШХП. Таким чином, для підвищення ефективності процесу доставки необхідно застосовувати такі рішення, при яких досягнемо якнайшвидшої доставки від виробника споживачу.

Питання теоретичного й методичного забезпечення діяльності з перевезення різних вантажів, у тому числі й швидкопсувних, а також з транспорту й логістики відображені в роботах Л. Л. Афанасьєва, В. М. Беляєва, Г. К. Ганченко, В. Д. Герамі, В. С. Лукинського, Л. Б. Миротіна, Ю. М. Неруша, Т. А. Прокоф'євої, А. Д. Хмельницького й ін.

Однак аналіз наукових праць у розглянутій області показав недостатню пропрацьованість питань доставки ШПП із урахуванням їх специфіки.

Зазначені обставини дозволяють зробити висновок про актуальність роботи, пов'язаної з розробкою ряду пропозицій, спрямованих на підвищення ефективності доставки ШПП із використанням автомобільного транспорту.

**Постановка задачі.** Об'єктом роботи є процес доставки ШПП автомобільним транспортом від виробника до споживача, предметом – час руху ШПП у міжміському сполученні.

**Мета роботи** – розробка пропозицій з мінімізації часу доставки швидкопсувного вантажу з урахуванням дорожніх умов.

Для досягнення поставленої мети:

- здійснимо вибір методики розрахунку найкоротшої відстані між пунктами з метою мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем;

- проведемо уточнення обраної методики шляхом мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем з урахуванням дорожніх умов для підвищення ефективності доставки.

На сьогоднішній день в умовах наявності значних обсягів перевезень вантажів для забезпечення найбільш раціонального використання рухомого складу й скорочення транспортних витрат велике значення має визначення найкоротших відстаней між пунктами транспортної мережі. Завдання визначення найкоротших відстаней (вибору найкоротшого шляху) є класичним завданням дослідження операцій. Воно належить до класу екстремальних. У вітчизняній і закордонній літературі рекомендуються різні методи рішення даного завдання, що використовують принципи лінійного й динамічного програмування.

Але у практиці оптимального планування роботи автомобілів є цілий ряд завдань, які не можуть бути вирішені методами лінійного програмування. Це пов'язане з тим, що цільова функція, оптимальне значення якої необхідно знайти, залежить від часу. Такі завдання вирішуються методом динамічного програмування [1].

Особливістю динамічного програмування є певний методичний прийом, що полягає в наступному: переміщення точки в просторі (визначення найкоротшої відстані між пунктами мережі) розділяється на ряд послідовних етапів (кроків), проводиться послідовна оптимізація кожного з них, починаючи з останнього. На кожному етапі розрахунків спочатку визначається умовне оптимальне управління (при всіляких припущеннях про результати попереднього кроку), а потім, коли процес оптимізації доведений до вихідного стану, знову проходиться вся послідовність кроків, але вже у зворотному порядку, спочатку до кінця, і на кожному кроці з безлічі умовних оптимальних управлінь обирається одне (у цьому випадку мінімальна відстань між пунктами транспортної мережі).

Перевага такого методу поетапної оптимізації в тому, що він спрощує рішення багатьох екстремальних завдань, оскільки набагато легше

багаторазово вирішувати завдання відносно просте, ніж один раз – досить складне.

Нехай задана транспортна мережа з пунктами-вершинами й відстані між пунктами, тобто визначені ланки мережі і їхня довжина (рисунки 1).

Відстані між вершинами визначаються виміром відстаней від кожного пункту до всіх інших за масштабними картами.

Зробимо загальну постановку задачі. Розглядається керований процес, у результаті управління система (об'єкт управління)  $S$  переводиться з початкового стану  $s_0$  у стан  $\hat{s}$ . Припустимо, що управління можна розбити на  $n$  кроків, тобто рішення приймається послідовно на кожному кроці, а управління, що переводить систему  $S$  з початкового стану в кінцевий, являє собою сукупність  $n$  покрокових управлінь.

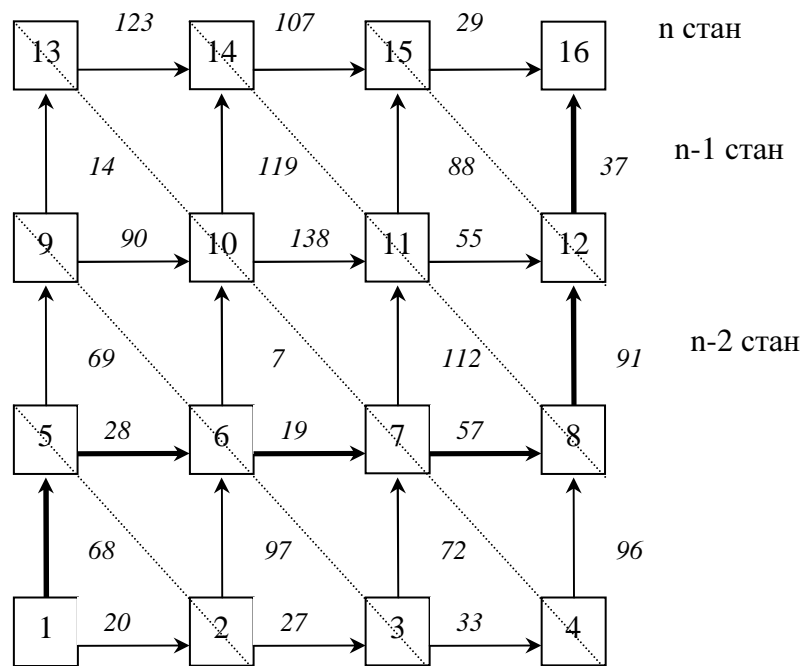


Рисунок 1 – Розмічений граф (для визначення мінімальної відстані руху)

Позначмо через  $X_k$  управління на  $k$ -му кроці ( $k = 1, 2, \dots, n$ ). Перемінні  $X_k$  задовольняють деяким обмеженням.

Нехай  $X (X_1, X_2, \dots, X_n)$  – управління, що переводить систему  $S$ , зі стану  $s_0$  у стан  $\hat{s}$ . Позначимо через  $s_k$  стан системи після  $k$ -го кроку управління. Одержуємо послідовність станів  $s_0, s_1, s_{k-1}, s_k, \dots, s_{n-1}, s_n = \hat{s}$ , яку зобразимо кружками (рисунки 2).

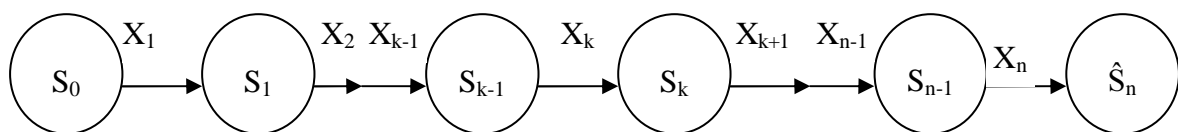


Рисунок 2 – Послідовність станів управління

Показник ефективності розглянутої керованої операції – цільова функція залежить від початкового стану і управління:

$$Z = F(S_0, X). \quad (1)$$

Зробимо кілька припущень:

1. Стан  $s_k$  системи наприкінці  $k$ -го кроку залежить тільки від попереднього стану  $s_{k-1}$  і управління на  $k$ -ому кроці  $X_k$  (і не залежить від попередніх станів і керувань). Ця вимога називається «відсутністю післядії». Сформульоване положення записується у вигляді рівнянь:

$$S_k = \varphi_k(S_{k-1}, X_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

які називаються рівняннями станів.

2. Цільова функція (1) є адитивною від показника ефективності кожного корку. Позначимо показник ефективності  $k$ -го кроку через

$$Z_k = f_k(S_{k-1}, X_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

тоді

$$Z = \sum_{k=1}^n f_k(S_{k-1}, X_k). \quad (4)$$

Задача покрокової оптимізації формулюється так: визначити таке припустиме управління  $X$ , що переводить систему  $S$  зі стану  $S_0$  у стан  $\hat{S}$ , при якому цільова функція (4) приймає найменше значення.

Виділимо особливості моделі динамічного програмування:

1. Задача оптимізації інтерпретується як  $n$ -кроковий процес управління.

2. Цільова функція дорівнює сумі цільових функцій кожного кроку.

3. Вибір управління на  $k$ -тому кроці залежить тільки від стану системи до цього кроку, не впливає на попередні кроки (немає зворотного зв'язку).

4. Стан  $S_k$  після  $k$ -го кроку управління залежить тільки від попереднього стану  $S_{k-1}$  і управління  $X_k$  (відсутність післядії).

5. На кожному кроці управління  $X_k$  залежить від кінцевого числа керуючих перемінних, а стан  $S_k$  – від кінцевого числа параметрів.

Таким чином, модель враховує принцип оптимальності: який би не був стан системи  $S$  в результаті будь-якого числа кроків, на найближчому кроці потрібно вибрати управління так, щоб воно в сукупності з оптимальним управлінням на всіх наступних кроках приводило до оптимального виграшу на всіх корках, що залишились, включаючи даний.

Принцип оптимальності затверджує, що для будь-якого процесу без зворотного зв'язку оптимальне управління таке, що воно є оптимальним для будь-якого підпроцесу стосовно вихідного стану цього підпроцесу. Тому рішення на кожному кроці виявляється найкращим з погляду управління в цілому.

Використаємо принцип оптимальності на моделі пошуку оптимальної відстані (рисунок 3).

Ребру приписується вага більше нуля. Постановка задачі  $\min (A, B) \rightarrow$   
Алгоритм рішення заснований на наступному твердженні:

$$S \mid S(A, P, B) = \min. (AP) \Rightarrow S(P, B) = \min.$$

Послідовність рішень  $\xrightarrow{\text{def}}$  стратегія.

На безлічі стратегій  $\xrightarrow{\text{def}}$  цільова функція.

Стратегія, на якій цільова функція досягає  $\min \xrightarrow{\text{def}}$  Оптимальна стратегія.

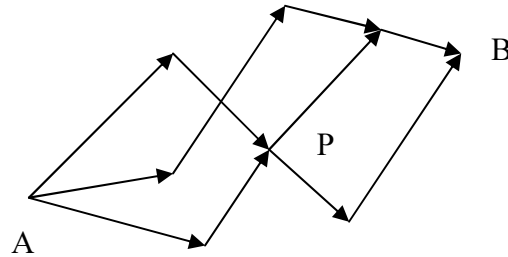


Рисунок 3 – Ациклічна мережа (спрямований граф)

Для реалізації методу необхідно:

I Процес рішення перетворити в  $n$ -етапний процес.

II Для кожного етапу описати:

- а) безліч рішень;
- б) безліч початкових станів;

III Для I, II виконаємо принцип оптимальності.

Оптимальна стратегія має таку властивість: які б не були початкові рішення і стан, досягнуті в результаті цих рішень, подальші рішення повинні бути оптимальними щодо досягнутих станів.

Використаємо спрямований граф (рисунок 1) для знаходження мінімальної відстані з вузла 1 у вузол 16. Реалізація моделі таблична на прикладі станів  $(n-1)$ ,  $(n-2)$ .

1. Розіб'ємо процес на  $n$ -етапів, як показано на рисунку.

2. Для кожного етапу будемо виписувати в таблиці 1 стани  $S$  і безліч рішень  $X$ .

3. Застосуємо принцип оптимальності Беллмана стосовно до мінімальної відстані, тобто: найкоротший шлях з  $A$  в  $B$  володіє тою властивістю, що які б не були початкові відрізки цього шляху і пункт  $P$ , у який вони привели, подальший шлях повинен бути найкоротшим шляхом з  $P$  у  $B$ .

У підсумку отримали маршрут 1-5-6-7-8-12-16 з мінімальною відстанню перевезення швидкопсувного вантажу 300 км.

Однак таке рішення завдання не враховує швидкість доставки швидкопсувного вантажу, тобто її зниження у зв'язку з дорожніми умовами, тому пропонується уточнена методика формування маршруту руху, що мінімізує час доставки вантажу.

Таблиця 1 – Таблична реалізація мінімальної відстані на прикладі станів (n-1), (n-2)

x	16	$\hat{x}$	$\hat{f}$
s			
12	37	37	16
15	29	29	16

n-1 стан

x	12	15	$\hat{x}$	$\hat{f}$
s				
8	128	0	128	12
11	92	117	92	12
14	0	136	136	15

n-2 стан

Підвищення ефективності доставки швидкопсувних вантажів автомобілями шляхом мінімізації часу руху від постачальника до споживача пропонується досягти виконуючи наступні корки:

1. Розрахунок швидкості руху транспортного засобу з урахуванням дорожніх умов, використовуючи методику [2], та визначення часу руху на ділянках транспортної мережі.

Значення максимально можливих або припустимих швидкостей руху  $V_{\max}$  на кожній ділянці дороги для кожного періоду року обчислюється виходячи з параметрів і стану доріг.

Кожному розрахунковому стану покриття відповідає певний коефіцієнт опору коченню:

$$f_v = f_{20} + K_f \cdot (V - 20). \quad (5)$$

де  $f_{20}$  – коефіцієнт опору коченню при швидкості 20 км/год; приймаємо його рівним  $f_{20} = 0,01$  згідно [2];

$K_f$  – коефіцієнт зміни опору коченню залежно від швидкості; приймаємо для вантажного автомобіля  $K_f = 0,0002$  [2];

$V$  – швидкість, для якої визначаються значення  $f_v$ .

Максимально можливу швидкість на прямих ділянках дороги визначають за динамічними характеристиками автомобіля.

Необхідний динамічний фактор:

$$D = f_v \pm i, \quad (6)$$

де  $i$  – позовжній ухил дороги.

Максимально припустиму швидкість на кривих у плані (км/год) визначають за умовами стійкості автомобіля при русі покриттям, що перебуває в стані, характерному для розрахункового періоду:

$$V_{\phi \max} = \sqrt{127 \cdot R \cdot (\phi_2 \pm i_a)}. \quad (7)$$

де  $\phi_2$  – коефіцієнт поперечного зчеплення; приймаємо  $\phi_2 = 0,8 \cdot \phi$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт поздовжнього зчеплення; приймаємо  $\varphi = 0,8$  [2];

$\alpha$  – поперечний ухил віражу.

При цьому на ділянках, де на обмеження швидкості впливає кілька параметрів доріг, швидкість приймаємо за меншим значенням.

Таблиця 2 – Вихідні дані й результати розрахунку часу руху на ділянках мережі з урахуванням дорожніх умов

№ ділянки	Ухил $i$ , %	Радіус кривої в плані $R$ , м	Динамічний фактор $D$	Швидкість за динамічним фактором $V_{фмакс}$ , км/год	Швидкість за радіусом $V_{фмакс}$ , км/год	Час руху ділянкою $t_p$ , год
1-2	+10	-	0,04	50	-	0,4
1-5	+30	-	0,06	35	-	1,94
2-3	+5	-	0,035	50	-	0,54
2-6	-5	-	0,025	60	-	1,62
3-4	-20	-	0,01	90	-	0,37
3-7	+10	-	0,04	50	-	1,44
4-8	-15	-	0,015	90	-	1,07
5-6	-10	-	0,02	80	-	0,35
5-9	+10	-	0,04	50	-	1,38
6-7	-15	100	0,015	90	82	0,23
6-10	-40	-	-0,01	90	-	0,08
7-8	+10	-	0,04	50	-	1,14
7-11	+30	-	0,06	35	-	3,2
8-12	+20	-	0,06	45	-	2,02
9-10	+10	400	0,04	50	164	1,8
9-13	+5	-	0,035	50	-	0,28
10-11	-15	-	0,015	90	-	1,53
10-14	-15	-	0,015	90	-	1,32
11-12	-10	-	0,02	80	-	0,69
11-15	-20	-	0,01	90	-	0,98
12-16	+40	200	0,07	32	116	1,16
13-14	+30	300	0,06	35	142	3,51
14-15	-10	-	0,02	80	-	1,34
15-16	+20	-	0,05	45	-	0,64

Таким чином, виконаємо розрахунок максимально можливої швидкості руху на кожній ділянці заданої транспортної мережі в наступній послідовності:

- розрахуємо за формулою (5) коефіцієнт опору коченню для швидкості 120 км/год [2];

- за динамічними характеристиками автомобіля КамАЗ-5320 [3] з урахуванням розрахунку за формулою (6) визначимо максимально можливу швидкість на прямих ділянках доріг;
- використовуючи формулу (7) розрахуємо максимально можливу швидкість на кривих у плані;
- розрахуємо час руху на ділянках мережі з урахуванням дорожніх умов:

$$t_{\text{доо}} = \frac{l_i}{V_{i\text{о max}}}, \quad (8)$$

де  $l_i$  – відстань між вершинами або окремими пунктами транспортної мережі, км;

$V_{i\text{о max}}$  – максимально можлива швидкість руху на кожній ділянці дороги з урахуванням дорожніх умов, км/год.

Вихідні дані й результати розрахунку часу руху на ділянках мережі з урахуванням дорожніх умов наведені в таблиці 2.

2. Рішення завдання динамічного програмування з урахуванням часу руху на ділянках транспортної мережі (ланки мережі – час руху між пунктами). Розмічений граф наведено на рисунку 4.

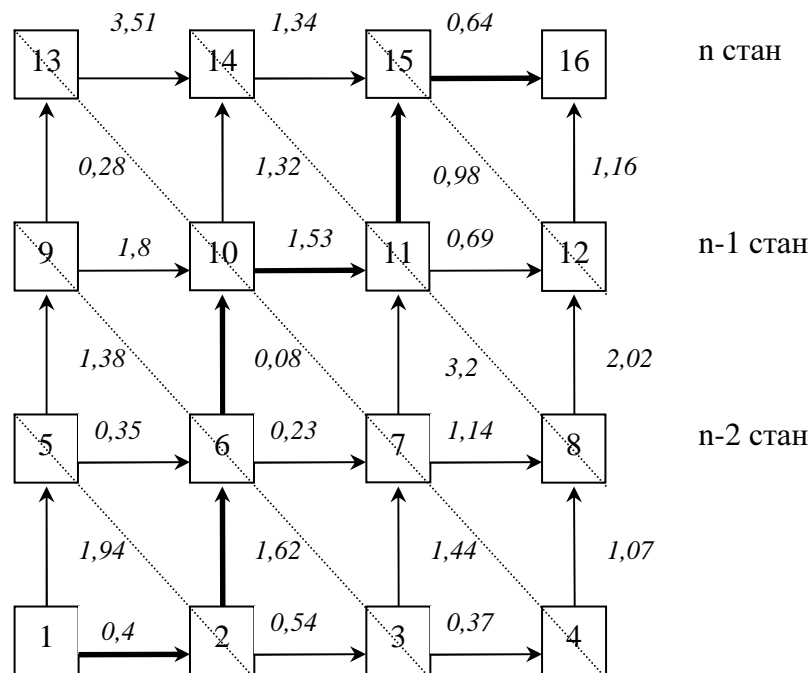


Рисунок 4 – Розмічений граф (для визначення мінімального часу руху)

У результаті отримали маршрут 1-2-6-10-11-15-16 з мінімальним часом перевезення швидкопсувного вантажу 5,25 год.

Попередній маршрут, мінімальний за відстанню перевезення швидкопсувного вантажу, займе 6,84 год.

**Результати досліджень.** Таким чином, запропонована методика дає вигреш у часі на 1,59 год.



**Висновки.** Наукова новизна роботи полягає в уточненні методики розрахунку мінімального часу доставки швидкопсувного вантажу з урахуванням дорожніх умов.

Практична значимість міститься у визначенні маршруту з мінімальним часом доставки швидкопсувного вантажу з урахуванням дорожніх умов.

Тобто у роботі:

- здійснено вибір методики розрахунку найкоротшої відстані між пунктами з метою мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем;

- проведено уточнення обраної методики шляхом мінімізації часу руху автомобіля з швидкопсувним вантажем з урахуванням дорожніх умов для підвищення ефективності доставки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций. пер. с англ. / А. Таха Хэмди. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.

2. Указания по обеспечению безопасности дорожного движения на автомобильных Дорогах. ВСН 25-86. Минавтодор РСФСР. – М. : Транспорт, 1988. – 183 с.

3. Бортницкий П.И. Тягово-скоростные качества автомобилей / П. И. Бортницкий, В. И. Задорожный. – К. : Вища школа, 1978. – 176 с.

**Артамонова Ю.В., Гармаш Е.Г., Хрипуненко Г.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОСТАВКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЯМИ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ОТ ПОСТАВЩИКА К ПОТРЕБИТЕЛЮ**

*Осуществлен выбор методики расчета кратчайшего расстояния между пунктами с целью минимизации времени движения автомобиля со скоропортящимся грузом, проведено уточнение выбранной методики путем минимизации времени движения автомобиля со скоропортящимся грузом с учетом дорожных условий для повышения эффективности доставки.*

*Ключевые слова: скоропортящийся продукт, динамическое программирование, скорость, продольный уклон, радиус кривой в плане, время движения.*

**Artamonova J.V., Garmash E.G., Hripunenko G.V. IMPROVING THE EFFICIENCY OF MOTOR DELIVERY OF PERISHABLE CARGO FROM SUPPLIER TO CONSUMER BY MINIMIZING THE TRAVEL TIME**

*Selection design procedure of the shortest distance between points in order to minimize motor travel time with perishable cargo was realized, refinement of the selected design procedure by minimizing motor travel time with perishable cargo was made adjusted for road conditions to increase the delivery efficiency was made.*

*Keywords: perishable product, dynamic programming, speed, longitudinal slope, radius of curve, travel time.*