

Ольга Ю. Сопощко

АЛГОРИТМ ВИРІШЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОГО ЦИКЛУ ДОСТАВКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ (ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ)

У статті визначено умови циклу доставки продуктів харчування (швидкопсувних вантажів) та вимоги до організації логістичного циклу доставки таких вантажів. Сформульовано алгоритм вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкопсувних вантажів), а також наведено приклад використання такого алгоритму та розроблено оптимальні маршрути доставки вантажів зі складу до торговельних точок.

Ключові слова: продукти харчування; швидкопсувні вантажі; оптимізація; логістичний цикл.

Форм. 3. Рис. 3. Табл. 5. Літ. 11.

Ольга Ю. Сопощко

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ (СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ)

В статье определены условия цикла доставки продуктов питания (скоропортящихся грузов) и требования к организации логистического цикла доставки таких грузов. Сформулирован алгоритм решения практических задач оптимизации логистического цикла доставки продуктов питания (скоропортящихся грузов), а также приведен пример такого использования алгоритма и разработаны оптимальные маршруты доставки грузов со склада в торговые точки.

Ключевые слова: продукты питания; скоропортящиеся грузы; оптимизация; логистический цикл.

Olga Y. Sopotsko¹

ALGORITHM TO SOLVE PRACTICAL PROBLEMS OF LOGISTICS CYCLE DELIVERY OPTIMIZATION OF FOOD PRODUCTS (PERISHABLE CARGOS)

The article describes the conditions of the cycle for food products (perishable cargo) delivery and the requirements to the logistics delivery cycle for such cargos. The algorithm to solve practical problems of this logistics cycle optimization is offered. An example of this algorithm use is given along with the best routes for cargo delivery from stock to retail outlets is provided.

Keywords: food products; perishable cargo; optimization; logistics cycle.

Постановка проблеми. Для забезпечення ефективного функціонування ланцюгів постачань продуктів харчування (швидкопсувних вантажів) є необхідним врахування умов, в яких функціонує даний логістичний цикл та вимоги до його організації. У статті сформульовано алгоритм вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкопсувних вантажів), а також наведено приклад практичного застосування такого алгоритму для оптимізації логістичного циклу доставки ковбасних виробів. Актуальність даного дослідження полягає в тому, що питанню оптимізації логістичного циклу продуктів харчування, в тому числі швидкопсувних вантажів, науковцями приділено мало уваги. Питання є нагальним,

¹ National Transport University, Kyiv, Ukraine.

оскільки ефективний та високоорганізований ланцюг постачання надасть можливість знизити втрати по всьому ланцюгу та підвищити ефективність перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аспектами підвищення ефективності автомобільних перевезень вантажів займалися такі вчені, як В.М. Нефьодов [10], Н.В. Потаман [11], а питаннями формування логістичних систем – Б.А. Анікіна [8], І. Білик [3], М. Васелевський [3], О. Дейнега [3], Є.В. Крикавський [3; 6; 7], О.В. Мороз [9], О.В. Музика [9], Н.В. Чернописька [3; 6; 7], та інші, які зробили вагомий внесок у теорію та практику логістичної науки.

Метою дослідження є формулювання алгоритму вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкокопсувних вантажів) та виявити можливість його практичного застосування. Для вирішення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: 1) визначити умови циклу доставки продуктів харчування (швидкокопсувних вантажів); 2) визначити вимоги до організації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкокопсувних вантажів); 3) сформулювати алгоритм вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкокопсувних вантажів); 4) навести приклад використання такого алгоритму для оптимізації логістичного циклу доставки ковбасних виробів; 5) розробити оптимальні маршрути доставки вантажів зі складу до торговельних точок.

Основні результати дослідження.

Умова: цикл доставки товарів з моменту надходження заявки на завод включає:

1. Виробництво необхідного обсягу i -го продукту V_i за час T_{pi} .
2. Доставка на склад філії (T_{fi}).
3. Оформлення і комплектація замовлення для відправки на торговельні точки (T_{ij}).
4. Доставка до торговельних точок (T_{ij}).
5. Підготовка до продажу (T_{mi}), виставлення в торговому залі.

Вимоги: організація циклу доставки таким чином, щоб мінімізувати кількість непроданого (поверненого) товару у всіх торговельних точках (ТТ) і максимізувати питомий дохід по кожному виду продукції.

Алгоритм рішення: умову мінімізації кількості непроданого i -го продукту на j -й ТТ можна математично сформулювати наступним чином:

$$\int_{T_{0ij}}^{T_{ki}} f_{ij}(t) dt \geq V_{ij} - V_{dij}, \quad (1)$$

де V_{ij} – обсяг i -го продукту, доставленого на j -ю ТТ; V_{dij} – об'ємна квота непродажу i -го продукту на j -й ТТ; T_{0ij} – час початку продажу i -го товару на j -й ТТ; T_{ki} – термін придатності i -го продукту; $f_{ij}(t)$ – функція питомих продажів i -го продукту на j -й ТТ залежно від періоду продажів.

Для функції $f_{ij}(t)$ можна виділити масштабні тимчасові характеристики опису в залежності від розглянутих в постановці завдання проміжків часу: річний цикл для товарів тривалої експлуатації, для яких терміном придатності є, наприклад, період оновлення модельної лінійки; сезонний для товарів, роз-

рахованих на певний період активних продажів; добовий для товарів з невеликим терміном придатності, зокрема, для продуктів харчування. При цьому слід підкреслити, що подібні функції залежать від режиму роботи конкретної ТТ, пори року, типу товару, ефективності проведених акцій і реклами та інших факторів, які слід враховувати менеджерам при плануванні продажів.

Опис функції $f_{ij}(t)$ має базуватися на результатах продажів i -го продукту на j -й ТТ шляхом або функціональної апроксимації (лінійної, степеневій, експоненційній) і мінімізацією квадратичного відхилення в рамках регресійно-кореляційного аналізу, або дискретним описом при достатній повноті бази даних шляхом лінійної інтерполяції даних (рис. 1).

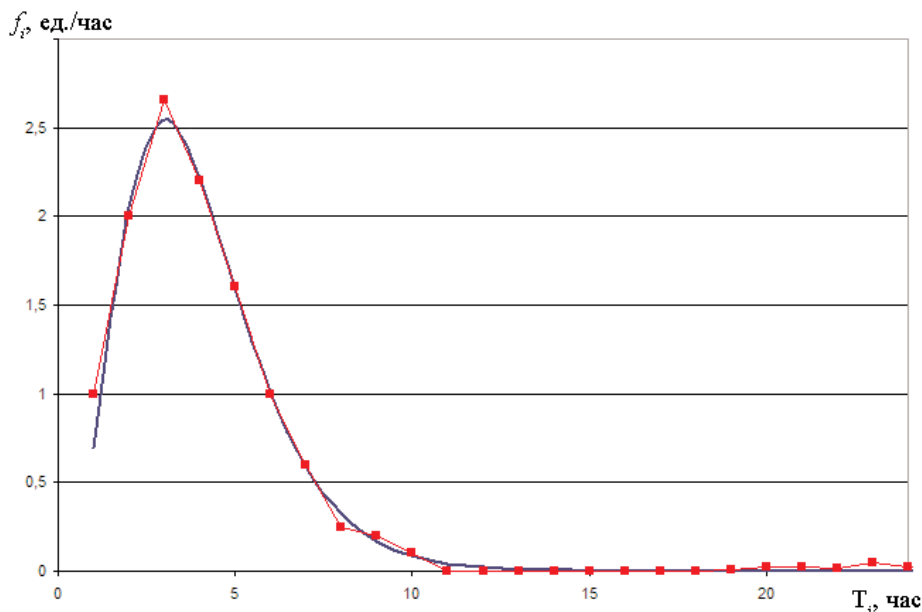


Рис. 1. Схема отримання функції f_i на основі даних про продаж i -го товару (точки) шляхом функціональної апроксимації (рівна лінія) і дискретного представлення шляхом лінійної інтерполяції (лінія з квадратами), авторська розробка

Таким чином, умова (1) описує прогноз обсягів продажів i -го продукту на j -й ТТ, які дозволяють вкластися в дозволені квоти за обсягом поверненого i -го продукту. Параметрами оптимізації в (1) є час початку продажу i -го товару T_{0ij} , що залежить, зокрема, від планування логістичного циклу, і обсяг замовленого продукту V_{ij} . Додатковою умовою к (1) може стати вимога обов'язкової наявності i -го продукту у продажу на j -й ТТ при супутньому ненульовому попиті $f_{ij}(t) > 0$ (відсутність дефіциту).

$$\int_{T_{0ij}}^{T_i} f_{ij}(t) dt < V_{ij} \text{ при } T_i < T_{ki} \text{ та } f_{ij}(T_i) > 0, \quad (2)$$

де T_i – поточний час з початку надходження i -го товару в продаж на j -й ТТ.

Для продуктів харчування з невеликим терміном придатності оптимізація параметрів (1)–(2), а саме T_{0ij} та V_{ij} , базується на умовах виробництва, обробки та доставки i -го продукту. Зокрема, чим раніше продукт надійде до продажу, тим більшим буде проміжок часу до закінчення терміну його придатності і тим більшим буде обсяг продажів у рамках конкретної партії товару. З іншого боку, скорочення термінів доставки може бути пов'язано зі збільшенням собівартості доставки і відповідним зниженням рентабельності продажів. Тому ще однією умовою оптимізації є максимальне перевищення прогнозованого доходу від продажів i -го товару конкретної партії на j -й ТТ.

$$r_i \times \int_{T_{0ij}}^{T_k} f_{ij}(t) dt - \sum_k g_{ik} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де r_i – ціна одиниці i -го товару в j -й ТТ; g_{ik} – вартість k -го етапу виробництва, підготовки і доставки i -го товару в j -й ТТ.

Реалізація детермінованих умов (1)–(3) безпосередньо пов'язана з кожним етапом виробництва і доставки i -го товару. Так, етап виробництва продукту обсягом V_j характеризується часом T_{pj} і собівартістю виробництва $g_{i1} = R_i \times V_j$, де R_i – вартість виробництва одиниці i -го товару.

Доставка виробленого товару на склад філії займає період часу T_{fi} , що залежить від обсягу продукції. Відповідно, це також визначає вартість цієї доставки g_2 . Аналогічно, комплектація замовлень та підготовка їх до відправки на ТТ займає період часу T_{ti} і має собівартість g_{i3} , які є функціями обсягу партій i -го товару. Як показує досвід, залежності часу зазначених робіт від обсягу вантажу є лінійними, з чого випливає також лінійність вартості їх проведення при оплаті людино-годин (у випадку роботи штатного персоналу оплата фіксується штатним розписом і від обсягу партії не залежить).

Доставка в ТТ товару зі складу є типовою задачею оптимізації, яка може мати декілька шляхів вирішення. З одного боку, вибір оптимальної схеми доставки всіх товарів і типів продуктів зі складу в усі j ТТ може бути проведений за допомогою сучасних програмних засобів шляхом прямого перебору можливих варіантів з оптимізацією логістичного циклу згідно (1)–(2) і максимізації прибутку згідно (3). Витрати в цьому випадку зручно представляти у вигляді питомої вартості доставки на 1 км шляху, що може враховувати оплату паливно-мастильних матеріалів, можливий ремонт транспортних засобів, дорожні збори, оплату праці тощо. Додатковою перевагою такого способу розв'язання може бути використання не тільки детермінованих критеріїв оптимізації, але і можливості додаткового обліку розкиду вхідних даних в рамках імовірнісних оцінок надійності доставки (за розрахунком доставки «точно в термін») або мінімізації фінансових втрат в рамках процедур ризик-аналізу.

Рішення задачі оптимізації логістичного циклу може бути спрощене шляхом постановки оберненої задачі, а саме попередніми розрахунками оптимального терміну доставки T_{0ij} та оптимізації доставки за методом апроксимації Фогеля (або методом Свіра) з подальшою перевіркою умови.

Використання наведеного вище алгоритму для вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки може бути продемонстрована

на наступному прикладі: оптимізація доставки продуктів харчування зі складу в с. Гоголів Київської обл. до торговельних точок в міста Київ, Чернігів, Біла Церква та Ірпінь (табл. 1, рис. 2). Розглядається 3 умовних типи продуктів харчування, що доставляються: ковбасні вироби (варені), копчені ковбаси і копчено-варені продукти без оболонки, параметри яких наведені в табл. 2, транспортні засоби, що використовуються для доставки та їх характеристики дані в табл. 3, відвантаження відбувається в полімерних ящиках до 20 кг в кожному.

Таблиця 1. Торговельні точки та вимоги щодо доставки*

№	Місцезнаходження торговельних точок	Відстань до складу, км	Необхідність продукту, кг/день (допустимий відсоток повернень)		
			варені ковбаси	копчені ковбаси	копчено-варені продукти без оболонки
1	м. Чернігів	110	250 (3,5%)	330 (3,5%)	130 (3,5%)
2	м. Біла Церква	130	220 (3,5%)	260 (3,5%)	200 (3,5%)
3	м. Ірпінь	80	270 (3,5%)	350 (3,5%)	90 (3,5%)
4	м. Київ	45	400 (3,5%)	760 (3,5%)	270 (3,5%)

* побудовано за даними [5].

Таблиця 2. Тип продуктів харчування, що доставляється та їх характеристики*

Продукт харчування	Термін придатності, доб.	Собівартість виробництва, грн	Роздрібна вартість, грн
варені ковбаси	6	65	75
копчені ковбаси	15	70	80
копчено-варені продукти	5	80	110

* побудовано за даними [5].

Таблиця 3. Транспортні засоби, що використовуються для доставки, та їх характеристики*

Авто	Вантажо-підйомність, кг	Обсяг, м ³	Кількість	Час навантаження/розвантаження	Собівартість пробігу, грн/км
HYUNDAI	3600	16,00	1	60	10
МБ 411	1400	6,00	1	40	7
МБ 814	2600	10,43	1	45	9

* побудовано за даними [5].

Слід зазначити, що необхідність товару в табл. 1, визначається величиною запланованих місячних продажів у конкретній ТТ, віднесеної до кількості робочих днів.

Виходячи з того, що швидкість пересування транспортних засобів одного класу обмежується правилами дорожнього руху на відповідних трасах, можна без обмеження спільності вважати середню швидкість руху однаковою, в справжньому прикладі вона дорівнює 80 км/год.

Оптимізація зазначеного циклу здійснювалась на основі чисельного розрахунку умовним перебором за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Оптимальна карта маршруту наступна (рис. 3):

Авто 1: склад → Київ (повне розвантаження) → склад.

Авто 2: склад → Київ (часткове розвантаження) → Чернігів (повне розвантаження) → склад.

Авто 3: склад → Київ (часткове розвантаження) → Біла Церква (повне розвантаження) → Ірпінь (часткове розвантаження) → склад.

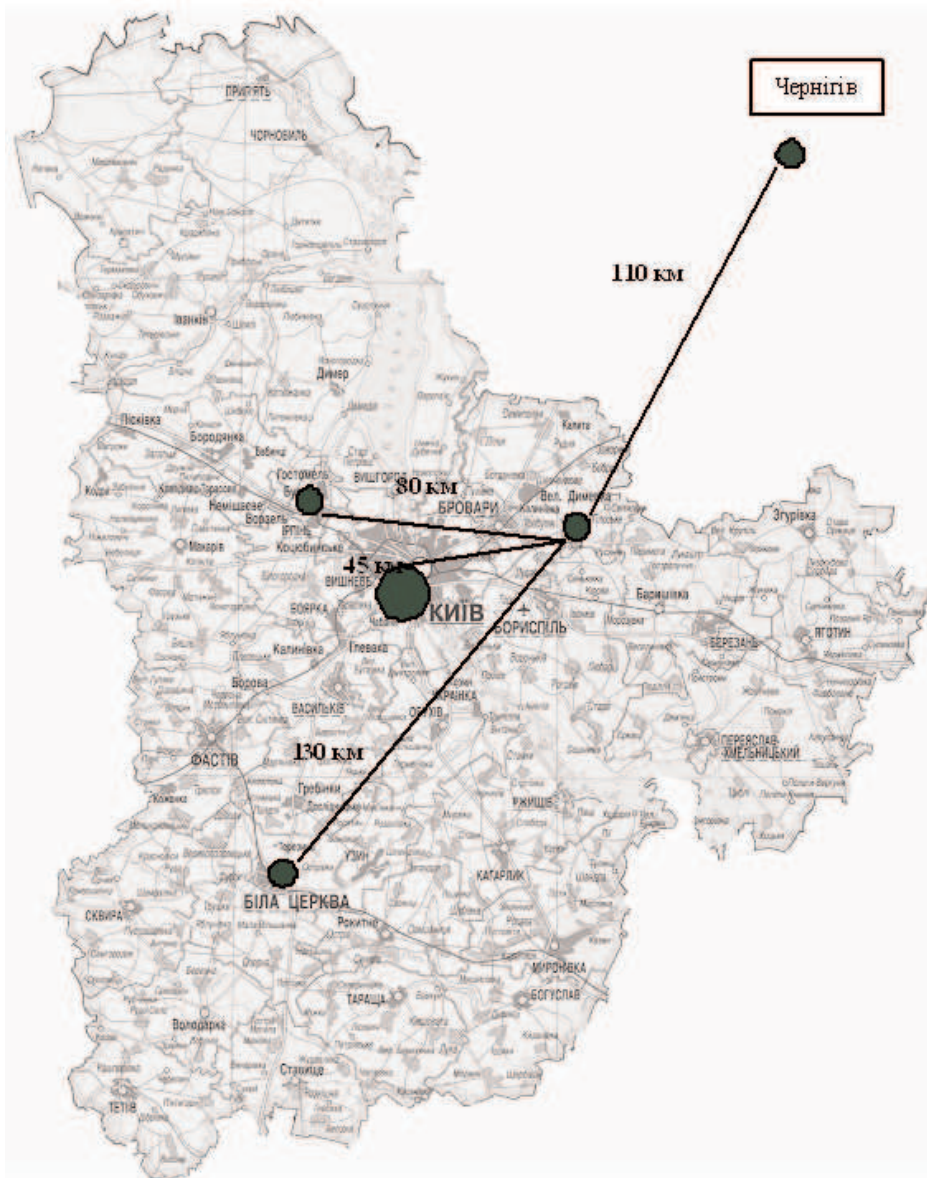


Рис. 2. Умовна схема доставки товарів зі складу до торгових точок, побудовано за даними [5]

Сумарні витрати на доставку згідно з цією картою з урахуванням повернення машин складають 822,2 грн. Додатковий час з моменту виробництва до надходження на склад кожного з продуктів, формування і завантаження замовлень, а також прийом і передача товару до торгової мережі знижують пе-

ріод фактичних продажів аж до вичерпання терміну придатності. У разі, якщо доставка здійснюється партіями, то для кожного з розглянутих типів продуктів необхідно розділяти час надходження у продаж у залежності. У розглянутій карті маршруту (рис. 3) немає багаторазового завезення одного типу продукції на одну ТТ в різний час, тому кожен продукт визначається своїм часом початку продажів T_{0j} .

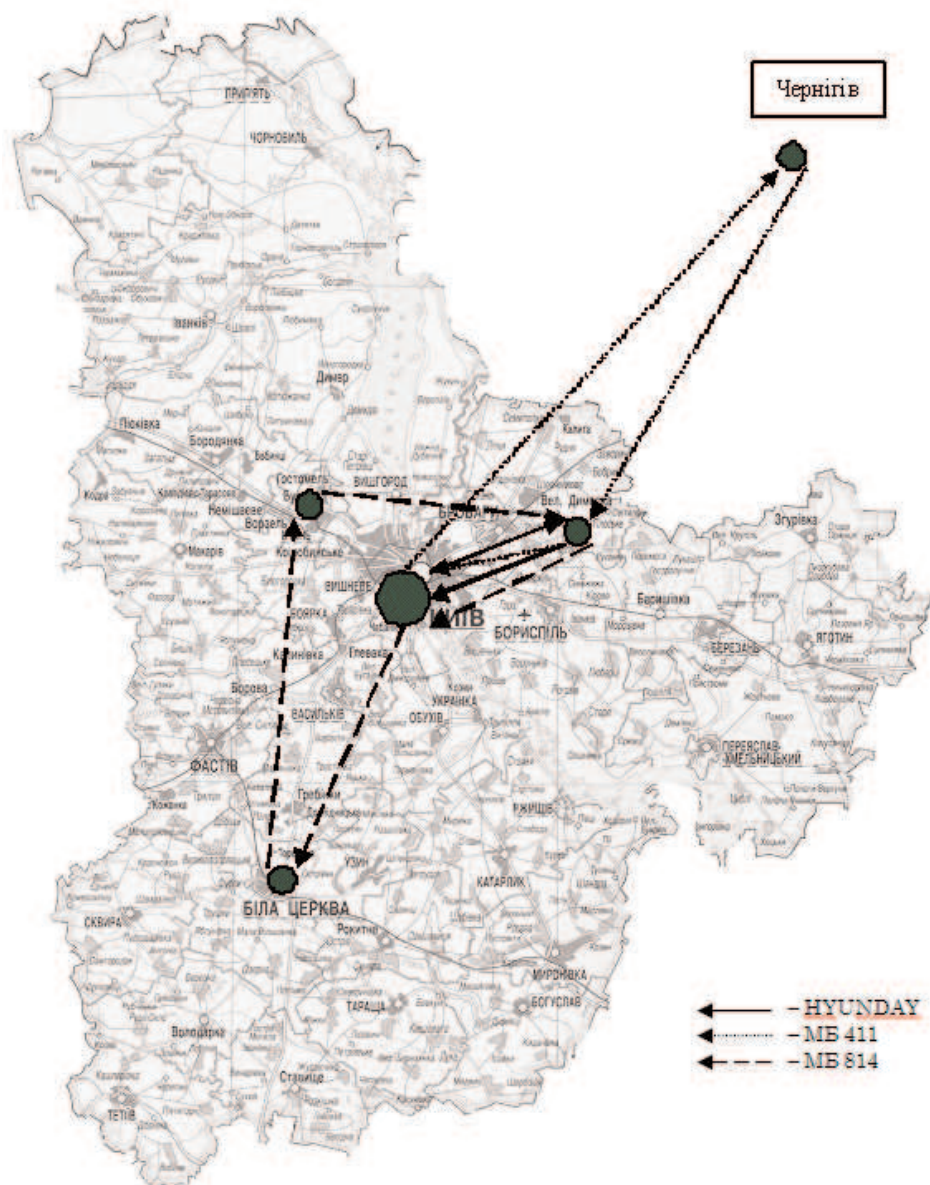


Рис. 3. Схеми оптимальних маршрутів по мінімізації сумарних витрат на доставку, побудовано за даними [5]

При довгостроковому плануванні необхідно додатково розглядати імовірнісний аспект доставки точно в термін з точки зору можливого відхилення вхідних даних від модельних. При необхідності доставки продукції через 2,5 доби після замовлення (50 годин) ймовірність доставки в термін, виходячи з даних табл. 4 приведена в табл. 5. Як видно з наведених даних, ймовірність зриву поставок у зазначений термін максимальна для ТТ №3 і становить 29%.

Таблиця 4. Імовірнісні характеристики часу операцій логістичного циклу*

№	Операція циклу замовлення	Середнє значення, год.	Середньоквадратичне відхилення
1	Передача	24	8
2	Обробка	6	2
3	Комплектація	12	4
4	Транспортування	T	T*0,33
5	Доставка	8	2,67

* побудовано за даними [5].

Таблиця 5. Ймовірність доставки продукції до ТТ «точно в термін»*

№	Місцезнаходження торговельної точки	Ймовірність доставки товару в часно (50 год.)
1	м. Чернігів	0,77
2	м. Біла Церква	0,78
3	м. Ірпінь	0,71
4	м. Київ	0,83

* побудовано за даними [5].

Висновки. При управлінні логістичними системами в ланцюгах постачань продуктів харчування (швидкопсувних вантажів) необхідно забезпечити високу ефективність функціонування моделі управління логістичною системою, в якій задіяні продукти харчування (швидкопсувні вантажі).

Тому необхідно враховувати умови, в яких функціонує даний логістичний цикл, та вимоги до його організації.

У статті сформульовано алгоритм вирішення практичних задач оптимізації логістичного циклу доставки продуктів харчування (швидкопсувних вантажів), а також наведено приклад практичного застосування такого алгоритму для оптимізації логістичного циклу доставки ковбасних виробів.

Результати статті можуть бути застосовані при розробці ефективної моделі управління логістичними системами. У статті також визначено умови циклу доставки продуктів харчування (швидкопсувних вантажів) та вимоги до організації логістичного циклу доставки таких вантажів.

1. Вільковський С.К., Кельман І.І., Бакуліч О.О. Вантажознавство. – 2-е вид., перероблене і доповнене. – Львів: Інтеллект-Захід, 2007. – 496 с.

2. Горяїнов О.М. Практика вантажних перевезень і логістики: Навч. посібник. – Харків: Кортекс-2001, 2008. – 323 с.

3. Економіка логістичних систем: Монографія / М. Василевський, І. Білик, О. Дейнега, М. Довба, О. Костюк, Є. Крикавський, С. Кубів, С. Леонова, П. Малолепши, О. Мних, С. Нікшич, І. Петецький, О. Попко, І. Рикованова, Н. Савіна, Л. Сопільник, Н. Чорнописька, Л. Юрченко, Л. Якимішин, Л. Янковська; За наук. ред. Є. Крикавського та С. Кубіва. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2008. – 596 с.

4. Зінь Е.А. Управління автомобільним транспортом: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2011. – 326 с.

5. Інформаційні матеріали // ПП «Український продукт» – дистрибютора ПАТ «Геркулес» // hercules.ua.
6. Крикавський С.В., Чорнописька Н.В. Логістичні системи: Навч. посібник. – Львів: Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2009. – 263 с.
7. Крикавський С.В., Чухрай Н.І., Чорнописька Н.В. Логістика: компендіум і практикум: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2009. – 340 с.
8. Логистика: Учеб. пособие / Под ред. проф. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 220 с.
9. Мороз О.В., Музика О.В. Системні фактори ефективності логістичної концепції постачання на підприємствах: Монографія / Вінницький національний технічний ун-т. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 165 с.
10. Нефьодов В.М. Підвищення ефективності автомобільних перевезень партійних вантажів з використанням розподільчих центрів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. – Х., 2007. – 20 с.
11. Потаман Н.В. Выбор рационального количества складов в цепочке поставок продукции автомобильным транспортом в межрегиональном сообщении: Дис... канд. техн. наук: 05.22.01 – Транспортные системы / Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – Харьков, 2010. – 243 с.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2014.