

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ TRANSPORT PROCESSES OPTIMIZATION OF LOGISTICS SYSTEM

УДК 330.45:164

<https://doi.org/10.32843/bses.53-35>

### Дмитришин Л.І.

д.е.н., професор, завідувач кафедри економічної кібернетики ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

### Баран Р.Я.

к.е.н., доцент, доцент кафедри міжнародної економіки, маркетингу і менеджменту Івано-Франківський навчально-науковий інститут менеджменту Тернопільського національного економічного університету

### Романів Н.С.

магістр ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

### Dmytryshyn Lesia

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

### Baran Rostyslav

Ivano-Frankivsk Educational and Scientific Institute of Management Ternopil National Economic University

### Romaniv Nataliia

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

Метою статті є представлення транспортних процесів логістичної системи у вигляді оптимізаційної моделі. Для оптимізації транспортного процесу використано такі сукупності вхідних даних, як множина завдань транспортного процесу, які будуть оптимізуватися; множина пристроїв (кожному завданню присвоюється тип пристрою); множина видів робіт, виконаних працівником; множина трудових ресурсів. Змінні моделі визначено як бінарні величини, безпосередньо пов'язані з параметрами часу, застосування пристроїв та (або) трудових ресурсів і видів виконуваних завдань у циклічних транспортних процесах у вигляді граничних умов. Важливим під час побудови оптимізаційної моделі є можливість вибору однієї або декількох цільових функцій, які в комплексі дають змогу підвищити ефективність функціонування логістичної системи. Завдання оптимізації транспортного процесу може бути вирішене стосовно будь-якої цільової функції.

**Ключові слова:** транспортний процес, логістична система, оптимізація, модель, цільова функція, граничні умови.

Целью статьи является представление транспортных процессов логистической

системы в виде оптимизационной модели. Для оптимизации транспортного процесса использованы такие совокупности входящих данных, как множество заданий транспортного процесса, которые будут оптимизироваться; множество устройств (каждому заданию присваивается тип устройства); множество видов работ, выполненных работником; множество трудовых ресурсов. Переменные модели определены как бинарные величины, непосредственно связанные с параметрами времени, применения устройств и (или) трудовых ресурсов и видов выполняемых заданий в циклических транспортных процессах в виде граничных условий. Важным при построении оптимизационной модели является возможность выбора одной или нескольких целевых функций, которые в комплексе позволят повысить эффективность функционирования логистической системы. Задание оптимизации транспортного процесса может быть решено касательно любой целевой функции.

**Ключевые слова:** транспортный процесс, логистическая система, оптимизация, модель, целевая функция, граничные условия.

*The aim of the article is the presentation of the transport processes of the logistics system in the form of an optimization model. This approach will allow forming options for optimizing the logistics system. The use of labor resources and technological potential is chosen as the criteria of optimality. The formed boundary conditions create preconditions for the use of available equipment and human labor in the transport processes of the logistics system. The transport process is defined as a complex set of individual procedures. These procedures involve not only the physical movement of the product, but also other logistics operations. The process of product delivery requires the use of a set of resources – labor, material, financial. The efficiency of these resources distribution at different stages of the transport process is ensured by optimizing the time to perform its individual tasks. To optimize the transport process, the following sets of input data are used: the set of tasks of the transport process that will be optimized; set of devices – each task is assigned a device type; many types of work performed by the employee; labor resources. Variable models are binary quantities directly related to the input variables of time, the use of devices and (or) labor resources and types of tasks performed in cyclic transport processes in the form of boundary conditions. Important in building an optimization model is the ability to choose one or more target functions, which in combination will increase the efficiency of the logistics system. The most important criteria for assessing the optimization of the transport process are: the use of labor, the degree of installed devices use (organizational indicator), uniform load of workers and equipment during the day, operating costs of the facility, the number of devices and workers. The problem of optimizing the transport process can be solved in relation to any objective function. The target function is selected according to the specific purpose. If you cannot select one target function to evaluate, you can apply multi-criteria evaluation based on all functions. In this case, each of these functions should be assigned the appropriate weight and apply the method of multi-criteria evaluation.*

**Key words:** transport process, logistics system, optimization, model, target function, boundary conditions.

**Постановка проблеми.** З кожним днем в Україні зростає інтерес до вже напрацьованого в розвинених країнах інструментарію логістичного управління переміщенням продукції від виробника до кінцевого споживача. Важливою є системність під час розгляду всіх елементів логістичного ланцюга, часто різноякісних та різнорідних, як взаємопов'язаних, так і взаємовиключних у досягненні єдиної цілі управління. Особливість системного підходу полягає в оптимізації функціонування не окремих елементів, а логістичної системи загалом. Отже, постає питання не тільки доцільності створеної логістичної системи, але й оптимізації її діяльності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження логістичних систем присвячено праці таких учених, як Є.В. Крикавський [1],

М. Кристофер [2], Ю.В. Пономарьова [4], Л.В. Фролова [5]. Втім, окрім оцінювання потужностей логістичної системи, оцінювати її функціонування можна на основі оптимальності оцінок транспортних процесів.

**Постановка завдання.** Метою статті є представлення транспортних процесів логістичної системи у вигляді оптимізаційної моделі. Такий підхід дасть змогу сформулювати варіанти оптимізації діяльності логістичної системи. Як критерії оптимальності вибираються використання трудових ресурсів або технологічного потенціалу. Сформовані граничні умови створюють передумови використання наявних потужностей обладнання та людської праці в транспортних процесах логістичної системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Транспортний процес логістичної системи є складною сукупністю окремих процедур. Ці процедури пов'язані не тільки з фізичним переміщенням (транспортуванням) продукту, але й з іншими логістичними операціями. Процес доставки продуктів охоплює, окрім транспортної, інші галузі логістики, зокрема закупівельну, складську, розподільчу, й вимагає застосування набору ресурсів, а саме трудових, матеріальних, фінансових. Ефективність розподілу цих ресурсів за окремими етапами транспортного процесу (ТП) забезпечується оптимізацією часу на виконання окремих завдань ТП. Застосування графічних рішень під час вирішення завдань оптимального розподілу часу для ТП дає змогу вирішувати завдання різного рівня складності та просторової розмірності. У разі, наприклад, внутрішнього транспортного процесу простір планування може мати декілька вимірів, пов'язаних із наведеними нижче даними. Проблему оптимізації можна формалізувати декількома різними способами залежно від методу оптимізації, який вибрано.

*Вхідні дані.* Для оптимізації транспортного процесу необхідні такі сукупності вхідних даних.

1) Множина  $I$  завдань транспортного процесу  $i \in I; I = \{1, 2, \dots, i, \dots, k, \dots, l\}$ , які будуть оптимізуватися. Елементами множини є транспортні цикли, виділені у транспортному процесі та записані у вигляді карти технологічного потоку.

2) Множина пристроїв  $U = \{0, 1, 2, \dots, u, \dots, U\}$ . Кожному завданню присвоюється тип пристрою  $u \in U$ . Присвоєння пристрою значення  $u = 0$  до завдання означає, що для цього завдання не використовується жоден пристрій.

3) Множина видів робіт  $C = \{0, 1, 2, \dots, c, \dots, C\}$ , виконаних працівником. Кожне завдання може бути віднесено до категорії людської праці  $c \in C$ , яка реалізовуватиме їх прямо чи опосередковано, керуючи відповідним пристроєм. Присвоєння категорії роботи значення  $c = 0$  до завдання означає, що це завдання виконується пристроєм автоматично без втручання людини.

4) Множина трудових ресурсів  $P = \{1, 2, \dots, p, \dots, z, \dots, P\}$ , в якій  $p \equiv (u, c) : u \in U; c \in C$ . Кожному завданню присвоюється елемент із набору видів ресурсів. Під видом ресурсу розуміють:

- $(0, c)$  → працівник  $c$ -ї категорії робіт, який виконує задане завдання вручну;
- $(u, c)$  → працівник  $c$ -ї категорії робіт, який виконує завдання, використовуючи пристрій  $u$ -го типу (механічно);
- $(u, 0)$  → пристрій  $u$ -го типу, що виконує завдання автоматично.

1) Множина завдань  $I^p$ , що виконуються  $p$ -м видом трудових ресурсів,  $I^p \subset I$ .

2) Множина завдань  $I^u$ , що виконується пристроєм типу  $u \in U$ .

– Множина завдань  $I^c$ , що виконуються  $c$ -ю категорією людської праці,  $I^c \subset I$ .

3) Множина буферів для внутрішнього процесу транспортування  $B = \{1, 2, \dots, b, \dots, B\}$ . Завдання ТП складаються з транспортних циклів із початком і кінцем в буферах ТП. Деякі цикли закінчуються в буфері (створюють його), інші починаються в ньому:

– кожен  $b$ -й буфер може мати обмежену місткість  $\Gamma^b$ , виражену в кількості одиниць, які можуть бути буферовані одночасно; буферні місткості утворюють такий вектор:  $\Gamma = [\Gamma^b : b \in B]$ ;

– у кожному  $b$ -му буфері перед початком роботи можуть бути одиниці  $S^b$ ; вектор попереднього заповнення буфера:  $S = [S^b : b \in B]$ .

4) Множина задач  $(i, k)$  із множини  $I$ , для яких буферна залежність у  $b$ -му буфері  $Z^b = \{(i, k) : i \in I, k \in I, i \neq k\}$ . Було прийнято, що  $i \in$  попереднім завданням, а  $k$  – наступним, а транспортні цикли  $i$ -ї задачі закінчуються в  $b$ -му буфері, а  $k$ -й має там свій початок. Завдання  $i$  заповнює  $b$ -й буфер, а завдання  $k$  бере одиниці, надані  $i$  звіди:

– кожне  $i$ -е завдання, що виконується  $p$ -м ресурсом, має відоме число щоденних повторень  $\lambda_i^{Dp}$  [циклів / день];

– кожне  $i$ -е завдання має відомий час повторення  $t_i$  [год];

– кожне  $i$ -е завдання має відоме щоденне використання робочої сили  $L_i^{Dp}$ , що впливає з кількості повторень транспортного циклу в цьому завданні  $\lambda_i^{Dp}$  та часу завершення одного циклу  $t_i$ ; щоденне навантаження завдань утворює вектор:  $L = [L_i^{Dp} : i \in I]$ .

Кількість використаної людської праці вимірюється в людино-годинах незалежно від того, як виконується завдання: вручну, механічно чи автоматично.

5) Множина часових періодів  $T = \{1, 2, \dots, t, \dots, T\}$  із зазначенням деталізації на графіку. Кількість елементів множини є результатом бажаної точності графіка. Зазвичай періоди часу, виділені для виконання завдань ТП, становлять 30 хвилин, що дає 16 періодів часу для 8-годинної робочої зміни.

6) Кількість робочих змін на добу  $I_z$  та тривалості робочих змін  $I$  [h]. Звідси випливає, що довжина кожного  $t$ -го відрізка часу становить  $(I \cdot I_z) / T$  [h].

*Формування графіка ТП у вигляді побудови задачі оптимізації.* Робота логістичного об'єкта буде організована шляхом присвоєння кожному  $i$ -му завданню певної кількості часових відрізків із множини часових відрізків  $T$ . Задля цього необхідно зробити такі припущення:

– тривалість робочого часу логістичної системи визначається  $I \cdot I_z$ , а на його основі визначається кількість часових відрізків  $T$ ;

– трудові ресурси  $p \in P$  «прив'язані» до завдань  $i \in I$ ; можна прив'язати більше одного виду ресурсів одному виду завдань, однак цю ситуацію слід розглядати окремо;

– кількість пристроїв  $u$ -го типу  $n^u$  та/або кількість працівників  $s$ -ї категорії роботи  $n^c$  враховується (необов'язково) як обмеження під час аналізу наявних засобів;

– дано витрати годин роботи пристрою  $u$ -го типу та працівника  $s$ -ї категорії людської праці, які виражаються як вартість години ресурсу  $p$ -типу  $k^p$ ;

– часові відрізки, призначені для виконання завдання  $i$ , в сумі становлять загальний допустимий час  $t_{dbr}^i$  для виконання цього завдання;

– час, необхідний для завершення одного транспортного циклу в рамках завдання  $i$ , значно менший за час, доступний для виконання цього завдання, становлячи  $t_i \ll t_{dbr}^i$ ;

– усі  $i$ -ті завдання повинні бути виконані протягом часу  $T$ ;

– інтенсивність трудомісткості заданого завдання рівномірна.

**Змінні величини.** Робота буде організована шляхом призначення кожному  $i$ -му виду завдань періоду часу  $t \in T$  з набору часових відрізків  $T = \{1, 2, \dots, t, \dots, T\}$ . Усі завдання повинні мати призначений час у вигляді відповідної кількості часових відрізків, розташованих на часовій шкалі відповідно до обмежень.

Змінні величини  $x_i^{p,t}$  бінарні, були введені для інтерпретації:

$$x_i^{p,t} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{те завдання реалізовано ресурсом} \\ \quad p - \text{го типу в } t - \text{му часовому інтервалі} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}$$

Змінні величини утворюють матрицю  $X = [x_i^{p,t}]_{i \times T}$ .

Система обмежень моделі оптимізації ТП включає такі умови.

1) Час початку та закінчення завдання. З технологічних причин деякі завдання ТП повинні бути запуснені та виконані в чітко встановлений час доби. Обмеження встановлюється шляхом визначення наборів часових періодів  $T^i$ , дозволених для  $i$ -го типу завдань.

2) Виключення окремих періодів часу може статися з технологічних причин, наприклад, у зв'язку з виробництвом, технічними оглядами, сервісним обслуговуванням.

3) Мінімальний/максимальний час, визначений для завдання  $t_{gr}$ . Цей час є мінімальною або максимальною кількістю часових відрізків  $t$ , які з технологічних причин повинні бути віднесені до  $i$ -го завдання.

4) Кількість ресурсів  $p$ -го виду. Обмеження щодо кількості ресурсів  $p$ -го типу вводиться головним чином для аналізу наявної системи. Обмеження показує кількість пристроїв чи залучених працівників. Це не має бути в разі нещодавно розробленого процесу, але його можна використовувати для усунення технологічно ірраціональних рішень.

5) Кількість ресурсів  $p$ -го виду, що виконують  $i$ -е завдання. Це обмеження є особливим випадком обмеження (4). У деяких ситуаціях для реалізації  $i$ -го завдання не можна використовувати більше  $p$  ресурсів, ніж передбачалося, хоча загалом об'єктів логістики може працювати більше.

6) Мінімальна тривалість виділеного періоду часу. За як завгодно великої кількості інтервалів  $t$  задача оптимізації може виділити допустимий час для  $i$ -го завдання, оптимізуючи цільову функцію, хоча це буде неефективно з технологічних причин (наприклад, запуск виробничої лінії на 10 хв.). Для цього було введено обмеження, яке встановлює мінімальну кількість  $r$  часових інтервалів  $t$ , які повинні утворювати нерозривну послідовність для  $i$ -го завдання.

7) Паралельне виконання завдань. З технологічних причин певні завдання не можуть бути виконані одночасно (наприклад, зберігання продукції у складських приміщеннях під час формування замовлень у тому ж робочому приміщенні).

8) Послідовності виконання завдань. Вибрані завдання ТП можуть демонструвати взаємну залежність від послідовності виконання. З огляду на специфіку транспортного процесу послідовність виконання завдань може відбуватися двома способами:

– після виконання всього завдання  $i$  (попереднього, тобто  $\lambda_i^D$  повторення транспортного циклу завдання) можна приступати до виконання  $k$ -го завдання (наступне, наприклад, контроль доставки після вивантаження всіх одиниць);

– у будь-який момент часу  $t$ , у якому розв'язується  $k$ -та задача (наступна), кількість повторів (циклів)  $i$ -ї задачі (попередньої) повинна бути щонайменше на  $\chi_i$  вище, ніж кількість повторень завдання  $k$ , здійснених до цього часу. Виконавши кількість  $\chi_i$  та повторень  $i$ -ї задачі (попередньої), можемо перейти до  $k$ -ї задачі (наступної).

9) Буферна місткість. Дві задачі  $i, k \in I$  можуть мати умови буферизації, де завдання  $i$  передуює завданню  $k$ , а пара  $(i, k)$  належить до множини  $Z^b$ . Питання про негативне «заповнення» буферів, яке може виникнути в деяких випадках, усувається шляхом застосування обмеження (8) до послідовності завдань. Це усуває призначення завдань у той момент, коли наступне завдання займає більше одиниць, ніж передбачено попереднім завданням.

Таким чином, представлені обмеження формують граничні умови моделі оптимізації ТП.

**Формування цільової функції задачі оптимізації ТП.** Графік ТП буде оптимальним для цього логістичного завдання, якщо експлуатаційні витрати ТП будуть мінімальними за збереження ефективності системи. Ефективність у цьому разі означає можливість підтримувати надійні щоденні потоки матеріалів. Цю ефективність можна покращити:

- використання більш ефективного транспортного обладнання (скорочення часу  $t_i$ );
- зміною просторового плану об'єкта або стратегії розміщення матеріалу;
- зміною процесу матеріального потоку, що веде до мінімізації кількості так званих вузьких місць переходу та зміни підрозділу чи транспортних засобів, чи використання праці;
- продовження часу доступної роботи пристроїв  $t_{dbr}$ .

Графік впливає на ступінь залучення пристроїв та людських ресурсів до процесу, визначаючи час, коли виконуються завдання, коли вони починаються та закінчуються. Ступінь використання пристрою можна визначити як відношення щоденної активності пристрою до робочого часу об'єкта.

Найважливішими критеріями оцінювання оптимізації ТП є:

- використання робочої сили;
- ступінь використання встановлених пристроїв (організаційний показник);
- рівномірне навантаження працівників та обладнання протягом дня;
- експлуатаційні витрати об'єкта;
- кількість пристроїв та працівників.

Завдання оптимізації ТП може бути вирішене стосовно будь-якої цільової функції, що визначає якість рішення. Запропоновані функції впливають на такі процеси.

1) Максимальне проміжне використання робочої сили у ТП. Фактичне використання робочої сили після її розподілу за часом визначається вартістю годинного робочого часу. Використання робочої сили за весь процес можна отримати шляхом додавання графіків інтенсивності завданженості процесу в окремих часових періодах. Мінімізація найбільшого з проміжних значень використання праці означає покращення розподілу завдань за часом.

2) Максимальне використання наявного технологічного потенціалу. Цей показник часто називають організаційним показником [3]. Кількість встановлених пристроїв та зайнятих працівників є результатом періодичного піку інтенсивності процесу. В інші періоди величина встановленого потенціалу залишається невикористаною (резервом).

Мінімізація величини цього резерву означає краще використання обладнання та працівників, уникнення втрат через простої [3]. У цьому разі цільову функцію можна сформулювати двома способами:

- максимізувати значення організаційного показника, виражене як співвідношення відповідних полів на графіку трудомісткості процесу, що імпортується;
  - мінімізація поля, відповідного невикористанню встановленого потенціалу в графіку трудомісткості.
- Отже, задача оптимізації ТП логістичної системи загалом має такий вигляд.

I. Цільова функція а, b або c або їх поєднання:

$$a) F_{1a}(X) = \max_{[t \in T]} \left\{ \frac{\sum_{i \in I^p} L_i^{Dp} \cdot x_i^{p,t} \cdot T \cdot k^p}{\sum_{s \in T^i} x_i^{p,t} \cdot l \cdot l_z \cdot k^b} \right\} \rightarrow \min_{[X]}$$

$$b) F_{1b}(X) = \max_{[t \in T]} \left\{ \frac{\sum_{i \in I^u} L_i^{Du} \cdot x_i^{u,t} \cdot T \cdot k^u}{\sum_{s \in T^i} x_i^{u,t} \cdot l \cdot l_z \cdot k^b} \right\} \rightarrow \min_{[X]}$$

$$c) F_{1c}(X) = \max_{[t \in T]} \left\{ \frac{\sum_{i \in I^c} L_i^{Dc} \cdot x_i^{c,t} \cdot T \cdot k^c}{\sum_{s \in T^i} x_i^{c,t} \cdot l \cdot l_z \cdot k^b} \right\} \rightarrow \min_{[X]}$$

II. Обмеження (1)–(9):

$$T^i = \{t^i, t^i + 1, t^i + 2, \dots, T_i\}, T^i \subset T, T_i \leq T \forall i \in I; \quad (1)$$

$$\sum_{t \in T^i: t^i < t < t^i + 1} x_i^{p,t} = 0 \forall i \in I \forall p \in P; \quad (2)$$

$$\sum_{t \in T^i} x_i^{p,t} \geq t_{dbr}^i \text{ або } \sum_{t \in T^i} x_i^{p,t} \leq t_{dbr}^i \forall i \in I \forall p \in P; \quad (3)$$

$$\frac{T}{l \cdot l_z \cdot \omega_t^p} \cdot \sum_{i \in I^p} \frac{L_i^{Dp} \cdot x_i^{p,t}}{\sum_{s \in T^i} x_i^{p,s}} \leq n^p \forall p \in P; \quad (4)$$

$$\frac{T}{\sum_{t \in T^i} x_i^{p,t}} \cdot \frac{L_i^{Dp}}{l \cdot l_z \cdot \omega_t^p} \leq n_i^p \forall p \in P; \quad (5)$$

$$\alpha_i^t \left( \sum_{z=0}^{\min\{T_i-t, t-1\}} \prod_{s=t}^{t+z} x_i^{p,s} - \sum_{z=1}^{\min\{T_i-t, t-1\}} \prod_{s=t+1}^{t+z} x_i^{p,s} + r_i \right) = 0 \forall i \in I \forall t \in T^i : t < T_i; \quad (6)$$

$$\exists i, k \in I \quad x_i^{p,t} + x_k^{q,t} \leq 1, \forall p, q \in P, \forall t \in T; \quad (7)$$

$$\exists i, k \in I \quad \frac{\sum_{w=1}^t x_i^{p,w} \cdot \lambda_i^D}{\sum_{v \in T^i} x_i^{p,v}} + \chi_i \geq \frac{\sum_{z=1}^t x_k^{p,z} \cdot \lambda_k^D}{\sum_{s \in T^i} x_k^{p,s}} \cdot x_k^{p,t} \forall t \in T; \quad (8)$$

$$\max_{[t \in T]} \left\{ \sum_{(i,k) \in Z^b} \left( \frac{\sum_{s=1}^t x_i^{p,s} \cdot \lambda_i^{Dp}}{\sum_{w \in T^i} x_i^{p,w}} - \frac{\sum_{s=1}^t x_k^{p,s} \cdot \lambda_k^{Dp}}{\sum_{w \in T^k} x_k^{p,w}} \right) + S^b \right\} \leq \Gamma^b \forall b \in B, \quad (9)$$

де  $\omega_t^p$  – коефіцієнт використання робочого часу на  $p$ -му ресурсі цього типу;  $L_i^{Dp}$  – щоденне споживання робочої сили, що виникає в результаті виконання  $i$ -го завдання ресурсом  $p$ -го типу [люд.-год.];  $n^p$  – кількість ресурсів типу  $p$  [шт.],  $n_i^p$  – кількість

ресурсів  $p$ -го виду, що виконують  $i$ -е завдання [шт.];  $r_i$  – мінімальна довжина часового відрізка (єдиного або одного з декількох, присвоєних завданню), включеного у час наявного  $i$ -го завдання [пункти];  $\alpha_i^t$  – допоміжна (бінарна) змінна  $\alpha_i^t \in A, A = [\alpha_i^{j,t}]_{j \in T, t=1}$ ;

$\lambda_i^D$  – щоденна кількість повторень  $i$ -го завдання (попереднього) [циклів/день];  $\lambda_k^D$  – щоденна кількість повторень  $k$ -го завдання (наступного) [циклів/день];  $\chi_i$  – кількість повторень  $i$ -го (попереднього) циклу завдань, що зумовлює виконання  $k$ -го (наступного) завдання [циклів];  $k^p$  – вартість години  $p$ -го ресурсу цього типу [грн./год.];  $k^b$  – основні витрати величини споживання праці, що обчислюються так:  $k^b = \min_{p \in P} \{k^p\}$  [грн./год.].

Функція цілі 2 також може бути розглянута завдяки використанню окремих  $p$ -х видів трудових ресурсів (випадок с). Організаційний показник, що використовується у функції цілі 2, розраховується для всіх типів пристроїв і категорій людської праці разом, визначається завдяки можливості додавання імпортованої трудомісткості.

З технологічних причин представляється виправданим оцінювати графік оптимізації ТП через рівномірність завантаженості окремих видів ресурсів. Для цього значення організаційного показника для кожного виду ресурсу повинні бути обчислені та збалансовані за рахунок годин роботи заданого ресурсу  $k^p$ .

Цільова функція вибирається відповідно до конкретної цілі. Якщо не можна вибрати одну цільову функцію для оцінювання, можна застосувати оцінку за кількома критеріями на основі всіх трьох функцій. У цьому разі кожній із згаданих функцій слід присвоїти відповідні ваги та застосувати метод багатокритеріального оцінювання.

**Висновки з проведеного дослідження.** Отже, встановлено важливість оптимізації транспортних процесів логістичної системи задля покращення її функціонування. Для реалізації цієї мети використано інструментарій побудови оптимізаційної моделі. Вхідні дані оптимізаційної моделі представлені множинами завдань, пристроїв, робіт та трудових ресурсів. Змінні моделі – це бінарні величини, безпосередньо пов'язані зі вхідними змінними параметрами часу, застосуванням пристроїв та (або) трудових ресурсів та видів виконуваних завдань у циклічних транспортних процесах у вигляді граничних умов. Важливим під час побудови оптимізаційної моделі є можливість вибору

однієї або декількох цільових функцій, які в комплексі дадуть змогу підвищити ефективність функціонування логістичної системи.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Крикавський Є.В., Чернописька Н.В. Логістичні системи. Львів : видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. 264 с.
2. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок. Санкт-Петербург : Питер, 2004. 316 с.
3. Толуев Ю.И., Планковский С.И. Моделирование и симуляция логистических систем. Киев : Милениум, 2009. 85 с.
4. Пономарьова Ю.В. Оцінка ефективності логістичної системи. *Економіка: проблеми теорії та практики* : збірник наукових праць. № 188. Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. С. 97–101.
5. Фролова Л.В. Концепція логістичного управління – основа підвищення ефективності функціонування підприємств. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2005. № 526. С. 173–180.

#### REFERENCES:

1. Krykavskiy Ye.V., Chornopyska N.V. (2009) Lohystychni systemy [Logistics systems]. Lviv: Vydavnytstvo natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 264 p. (in Ukrainian)
2. Krystofer M. (2004) Lohystyka y upravlenye tsepochkamy postavok [Logistics and Supply Chain Management]. SPb.: Pyter, 316 p. (in Russian)
3. Toluev Yu.Y., Plankovskiy S.Y. (2009) Modelyrovanye y symuliatsiya lohystycheskykh system [Modeling and simulation of logistics systems]. Kyev: Myllynyum, 85 p. (in Russian)
4. Ponomarova Yu.V. (2004) Otsinka efektyvnosti lohystychnoi systemy [Evaluation of logistic system efficiency]. *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky: zb. nauk. prats. Dnipropetrovsk: DNU, № 188*. pp. 97–101. (in Ukrainian)
5. Frolova L.V. (2005) Kontseptsii lohystychnoho upravlinnia – osnova pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia pidpriemstv [The concept of logistics management – the basis of improving the efficiency of enterprise functioning]. *Visn. Nats. un-tu "Lviv. Politekhnik"*, № 526, pp. 173–180. (in Ukrainian)