

УДК 656.073.27

В. В. ГЛАДКОВСЬКА

ПРОЕКТУВАННЯ КОНФІГУРАЦІЇ СКЛАДСЬКОЇ МЕРЕЖІ

Представлена економіко-математична модель, яка дозволяє спроектувати конфігурацію складської мережі з урахуванням специфіки обслуговуються вантажопотоків транспортно-експедиторською компанією для забезпечення мінімальних транспортних витрат, а також розподілити матеріальні потоки. Таким чином, для кожного регіону може бути визначено безліч можливих варіантів розташування складської мережі регіону. Де основним критерієм оптимізації конфігурації складської мережі є мінімізація транспортних витрат.

Ключові слова: складська мережа, транспортно-експедиторська компанія, ринок, логістичний оператор, регіон, вантажопоток.

Представлена экономико-математическая модель, которая позволяет спроектировать конфигурацию складской сети с учетом специфики обслуживаемых грузопотоков транспортно-экспедиторской компанией для обеспечения минимальных транспортных затрат, а так же распределить материальные потоки. Таким образом, для каждого региона может быть определено множество возможных вариантов местоположения складской сети региона. Где основным критерием оптимизации конфигурации складской сети является минимизация транспортных затрат.

Ключевые слова: складская сеть, транспортно-экспедиторская компания, рынок, логистический оператор, регион, грузопоток.

У статті розглядаються питання, пов'язані з конфігурацією складської мережі з урахуванням специфіки обслуговування вантажопотоків транспортно-експедиторською компанією для забезпечення мінімальних транспортних витрат.

Результатом дослідження є рішення задачі за допомогою розробленої економіко-математичної моделі, яка дозволить забезпечити отримання оптимальної конфігурації складської мережі. При цьому будуть розподілятися матеріальні потоки для безлічі обраних складів з урахуванням потужності яка проходить через склади. Даний підхід транспортних зв'язків у системі складів логістичного оператора враховує можливості міжрегіональних зв'язків й таким чином, охоплює всі можливі варіанти. Де основним критерієм оптимізації конфігурації складської мережі є мінімізація транспортних витрат.

Практична значимість розроблених процедур та методи можуть бути використані при створенні схеми руху транспортних засобів у процесі обслуговування складської мережі логістичного оператора. А також дозволить транспортно-експедиторській компанії визначити перспективи її присутності на розглянутих регіональних ринках в якості логістичного оператора, і в процесі розвитку вийти на нові ринки і стати частиною логістичної інфраструктури регіонів.

Ключові слова: складська мережа, транспортно-експедиторська компанія, ринок, логістичний оператор, регіон, вантажопоток.

Вступ. Багато транспортно-експедиторських компаній (особливо на півдні України) обслуговують вантажопотоки, пов'язані з імпортом вантажів, які надходять морем (через порти). При цьому експедитори, як правило, відповідають за передачу даних вантажів до складів клієнтів, які далі самостійно займаються розподільною логістикою. Новий статус експедитора – логістичний оператор – припускає самостійне виконання ним операцій з розподілу. Отже, експедитор повинен сформувати складську мережу, яка б забезпечувала розподіл з мінімальними витратами.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. До задачі розміщення складської мережі (мережі розподільчих центрів) досить часто звертаються у сучасних публікаціях.

Теоретична база логістики включає в себе розробки, які стосуються визначення місця розташування складів. Наприклад, у роботах [1] базовим методом визначення місця розташування складів є метод центру тяжіння та його модифікації.

Відзначимо, що в багатьох джерелах по логістиці наводяться принципові види залежності витрат на розподіл від кількості складів у системі (наприклад, [1, 2]). Але даний підхід є лише концептуальною моделлю, орієнтованою на продукцію конкретного виробника. Крім того, можуть бути використані інші методи для формування безлічі можливих варіантів знаходження складів у регіоні (наприклад, якщо вже є наявні обладнані приміщення для оренди або продажу і т.д.).

Наприклад, автор роботи [3, 4] вважає, що слід використовувати для рішення даної задачі концепції визначення можливих варіантів розміщення складів на базі транспортних зв'язків регіонів.

При більш детальному розгляді регіонів з точки зору транспортної інфраструктури слід визначити

конфігурацію складської мережі (тобто те, де і які ємності склади повинні бути розміщені). Тому проблема проектування складської мережі логістичного оператора є актуальною.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є проектування конфігурації складської мережі з урахуванням специфіки обслуговування вантажопотоків транспортно-експедиторською компанією у процесі її трансформації в логістичного оператора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити економіко-математичну модель, яка дозволить встановити оптимальну конфігурацію складської мережі.

2. Визначити схеми роботи транспортних засобів, які обслуговують дану складську мережу.

Матеріали та методи дослідження проектування конфігурації складської мережі. Основу дослідження створює системна модель транспортних зв'язків (рис. 1) та системна модель можливих варіантів руху транспортних засобів (рис. 2). У якості методу дослідження використовується метод дослідження операцій – нелінійна оптимізація.

Результати проектування конфігурації складської мережі транспортно-експедиторської компанії у процесі її трансформації у логістичного оператора. На першому етапі планування транспортно-експедиторська компанія формує безліч регіонів для ведення своєї діяльності, а також визначає необхідні сумарні ємності складів $X^{скл,i}$ та кількість транспортних засобів $X_{kl}^{mp,i}$ k -го типу l - марки (виробника), які обслуговують i -ий регіон. Для цього пропонується використовувати модель, яка наведена у [5].

© В. В. Гладковська. 2017

Таким чином, для кожного регіону може бути визначено $P_{\mathcal{Q}^i}$ – безліч можливих варіантів розташування складської мережі i -го регіону які формуються на базі попереднього аналізу логістичної інфраструктури регіону. Приймаємо у подальшому, що кожен варіант $\mathcal{Q}^i \in P_{\mathcal{Q}^i}$ пов'язаний з конкретною кількістю складів J^i .

На першому етапі дослідження прийемо, що джерелами зародження обслуговуваних матеріальних потоків є порти рис. 1, де J – безліч портів, $j = \overline{1, J}$ – індекс порта.

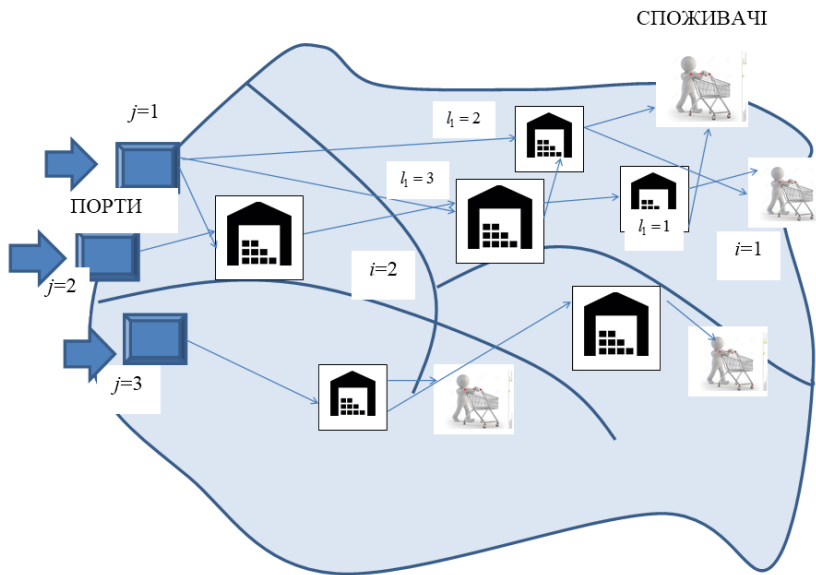


Рис. 1 – Формування складської мережі на базі існуючої системи вантажопотоків, яка обслуговується транспортно-експедиторською компанією

Стоком матеріального потоку, є склади споживачів. Позначимо K_i – безліч споживачів у i -му регіоні, $k_i = \overline{1, K_i}$ – індекс споживачів регіону.

Функціонування складської мережі може здійснюватися наступним чином: з портів до споживачів матеріальний потік може проходити по таким основним ділянкам:

- порт – склад регіону – споживач;
- порт – склад регіону – склад регіону – споживач;
- порт – склад іншого регіону – склад регіону – порт – склад регіону – споживач.

Відзначимо, що прямі зв'язки «порт – споживачі» не розглядаються, так як вони не пов'язані з проектуванням логістичної інфраструктури в контексті даного дослідження.

Таким чином, у складській мережі, що проектується, введемо наступні позначення розглянутих видів транспортних зв'язків:

1) Транспортні зв'язки «порти–склади»: $X_j^{il_i}$ – транспортний зв'язок j -го порту й l_i -го складу, де L_i – безліч розглянутих складів регіону $l_i = \overline{1, L_i}$. Для розглянутого часового періоду планування характерно те, що не доцільно деталізація по постачальникам,

тому в якості «агрегованого» постачальника виступає порт. Тому продукція, яка була доставлена в конкретний порт, пов'язана з сукупністю імпортерів; а споживачам повинна бути поставлена в заданих обсягах продукція з конкретного порту;

- Транспортні зв'язки «склад – склад» можна розділити на дві категорії: «склад – склад одного регіону», «склад – склад різних регіонів»: $X_{m_i}^{il_i} - l_i$ -го складу з m_i -им складом у регіоні i , поставки з порта j ; $X_{sl_s}^{jil_i} - l_i$ -го складу у i -му регіоні з l_s -им складом у s -му регіоні, поставки з порта j ;

2) Транспортні зв'язки «склад – споживачі» також можуть бути розділені на дві категорії – «склад одного регіону – споживачі іншого регіону», «склад та споживачі одного регіону»:

- $X_{k_i}^{jil_i} - l_i$ -го складу k_i -му споживачу у регіоні i , поставки з порта j ;

- $X_{il_i}^{jks} - l_i$ -го складу в i -му регіоні k_s -му споживачу у s -му регіоні, поставки з порта j .

Зазначені параметри управління обчислюються у тонах та відображають потужності матеріальних потоків, які проходять через елементи розподільної системи логістичного оператора. Відзначимо, що даний підхід до ідентифікації транспортних зв'язків у системі складів логістичного оператора враховує можли-

вості міжрегіональних зв'язків й таким чином, охоплює всі можливі варіанти.

Основним критерієм оптимізації конфігурації складської мережі є мінімізація транспортних витрат. Тому розглянемо деталізовано структуру транспортних витрат логістичного оператора з урахуванням ідентифікованих транспортних зв'язків. Відзначимо, що при вирішенні даної задачі не враховується номенклатура товарів у складі матеріальних потоків – такий розгляд актуально при вирішенні задачі оптимізації роботи складської мережі на базі імітаційного моделювання та відповідного програмного забезпечення (наприклад, як у [6-7] – це наступний рівень розгляду поетапної оптимізації роботи логістичного оператора).

Позначимо:

$R_j^{il_i}$ – витрати на транспортування з j -го порту у l_i -ий склад, де L_i – безліч розглянутих складів регіону $l_i = \overline{1, L_i}$; $R_{m_i}^{il_i}$ – витрати на транспортування з l_i -го складу у m_i -ий склад у регіоні i ; $R_{sl_s}^{il_i}$ – витрати на транспортування з l_i -го складу у i -му регіоні у l_s -ий склад у s -му регіоні; $R_{k_i}^{il_i}$ – витрати на транспортуван-

ня з l_i -го складу k_i -му споживачу у регіоні i ; $R_{il_i}^{sk_s}$ – витрати на транспортування з l_i -го складу у i -му регіоні k_s -му споживачу у s -му регіоні.

На базі прийнятих позначень сформулюємо вираження транспортних витрат за всіма можливими варіантами функціонування складської мережі: – витрати на транспортування від портів до складів у всіх регіонах

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} R_j^{il_i} (X_j^{il_i}), \quad (1)$$

– витрати на транспортування між складами у межах одного регіону у цілому по всій мережі

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{m_i=1}^{L_i} R_{m_i}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{m_i}^{jil_i} \right), \quad (2)$$

– матеріальний потік на даній ділянці об'єднує продукцію, поставлену в усі розглянуті порти J ;

$$\sum_{j=1}^J X_{m_i}^{jil_i}, \quad (3)$$

– витрати на транспортування між складами різних регіонів

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} R_{sl_s}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{sl_s}^{jil_i} \right), \quad (4)$$

– витрати на транспортування від складів до споживачів, які знаходяться у одному регіоні по всій мережі

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{k_i=1}^{K_i} R_{k_i}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{k_i}^{jil_i} \right), \quad (5)$$

– витрати на транспортування від складів до споживачів, які знаходяться у різних регіонах

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{s=1}^n \sum_{k_s=1}^{K_s} R_{il_i}^{sk_s} \left(\sum_{j=1}^J X_{il_i}^{jk_s} \right), \quad (6)$$

На даному етапі проектування зазначені витрати можуть бути визначені на базі середньостатистичних показників. Як відомо, витрати на транспортування залежать від відстані перевезення. Витрати автотранспортного підприємства при придбанні транспортних засобів для обслуговування заданих вантажопотоків досить детально розглянуті у працях [9, 10]. У даному випадку слід зазначити той факт, що відстань, яку у середньому за рейс буде проходити транспортний засіб на різних ділянках складської мережі визначається наступним: в одному або різних регіонах знаходяться склади, склад та споживачі рис. 2.

Так, доставка вантажу на склад з порту вимагає здійснити круговий рейс, це значить, що транспортний засіб пройде подвійну відстань між портом та складом. Аналогічно для об'єктів, які перебувають у різних районах. При цьому якщо об'єкти перебувають у одному районі (наприклад, склади, споживачі та склади), то транспортні засоби можуть здійснювати як маятникові рейси, так й кільцеві (тобто, охоплювати декількох споживачів за рейс). Так як на даному етапі проектування визначити те, яким чином транспортні засоби будуть охоплювати споживачів у регіо-

ні неможливо, то слід прийняти найбільш подовжений маршрут – маятниковий, який представлений на рис. 2.

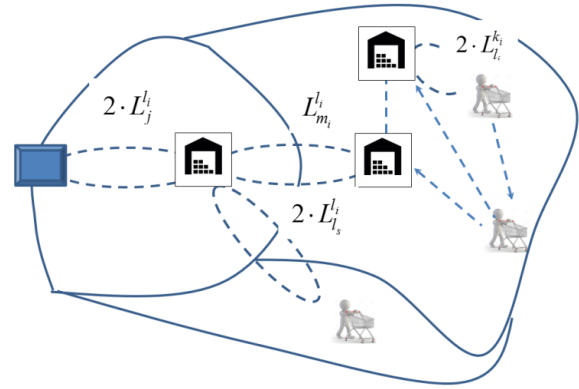


Рис. 2 – Схеми руху транспортних засобів у процесі обслуговування складської мережі логістичного оператора

Так як у контексті даної задачі транспортні засоби належать оператору, то структура витрат на транспортування може бути представлена наступним чином:

– витрати на транспортування від портів до складів

$$R_j^{il_i} (X_j^{il_i}) = \frac{X_j^{il_i}}{q} \left[r_1^{nep} \cdot 2 \cdot L_j^{il_i} + r_1^{nocm} \cdot 2 \cdot \left(\frac{L_j^{il_i}}{24 \cdot V} + t_n^{ппп} + t_n^{оас} \right) \right], \quad (7)$$

де r_1^{nep} – норматив змінних витрат на 1 км (паливо, мастильні матеріали і т. д.),

r_1^{nocm} – норматив добових постійних витрат (амортизація, страхування, заробітна плата водіям і т.д.). Відзначимо, що на різних етапах проходження матеріального потоку використовуються різні види транспортних засобів: наприклад, в порт вантаж приходить, як правило, у контейнерах, тому використовуються відповідні транспортні засоби. Між складами та від складів до споживачів товар може доставлятися транспортними засобами різної вантажопідйомності у залежності від розмірів партій. Тому у подальшому;

$r_2^{nep}, r_2^{nocm}, r_3^{nep}, r_3^{nocm}, r_4^{nep}, r_4^{nocm}, r_5^{nep}, r_5^{nocm}$ – відповідно, нормативи змінних та постійних витрат для транспортних засобів, які обслуговують інші ділянки проходження матеріального потоку; $L_j^{il_i}$ – відстань у (км)

від j -го порту до l_i -го складу, $l_i = 1, \overline{L_i}$ i -го регіону;

q_1 – вантажопідйомність транспортного засобу на ділянці від порту до складу, q_2, q_3, q_4, q_5 – відповідно, вантажопідйомності транспортних засобів на інших ділянках проходження матеріального потоку); V – середня швидкість руху автотранспорту в Україні, км/год; $t_n^{ппп}, t_n^{оас}$ – час на вантажно-розвантажувальні операції, очікування (простої), наприклад, у порту;

– витрати на транспортування між складами одного регіону

$$R_{m_i}^{il_i} (X_{m_i}^{il_i}) = \frac{X_{m_i}^{il_i}}{q_2} \left[r_2^{nep} \cdot L_{m_i}^{il_i} + r_2^{nocm} \cdot \left(\frac{L_{m_i}^{il_i}}{24 \cdot V} + t_2^{ппп} + t_2^{оас} \right) \right], \quad (8)$$

$L_{m_i}^{il_i}$ – відстань між складами у одному регіоні;

$t_2^{ППП}, t_2^{ооо}$ – час на вантажно-розвантажувальні роботи, очікування (у подальшому, $t_3^{ППП}, t_3^{ооо}, t_4^{ППП}, t_4^{ооо}, t_5^{ППП}, t_5^{ооо}$ – відповідно аналогічні тимчасові параметри для інших ділянок проходження матеріального потоку);

– витрати на транспортування між складами різних регіонів

$$R_{sl_s}^{il_i} = \frac{X_{sl_s}^{il_i}}{q_3} \left[r_3^{nep} \cdot L_{sl_s}^{il_i} + r_3^{nocm} \cdot \left(\frac{L_{sl_s}^{il_i}}{24 \cdot V} + t_3^{ППП} + t_3^{ооо} \right) \right], \quad (9)$$

$L_{sl_s}^{il_i}$ – відстань між складами різних регіонів;

– витрати на транспортування від складів до споживачів, які знаходяться у різних регіонах

$$R_{il_i}^{sk_s} = \frac{X_{il_i}^{sk_s}}{q_4} \left[r_4^{nep} \cdot 2 \cdot L_{il_i}^{sk_s} + r_4^{nocm} \cdot \left(\frac{2 \cdot L_{il_i}^{sk_s}}{24 \cdot V} + t_4^{ППП} + t_4^{ооо} \right) \right], \quad (10)$$

$L_{il_i}^{sk_s}$ – відстань між складами та споживачами у різних регіонах;

– витрати на транспортування від складів до регіональних споживачів

$$R_{il_i}^{ik_i} = \frac{X_{il_i}^{ik_i}}{q_5} \left[r_5^{nep} \cdot 2 \cdot L_{il_i}^{ik_i} + r_5^{nocm} \cdot \left(\frac{2 \cdot L_{il_i}^{ik_i}}{24 \cdot V} + t_5^{ППП} + t_5^{ооо} \right) \right], \quad (11)$$

$L_{il_i}^{ik_i}$ – відстань від складу до регіонального споживача.

Зазначимо, що інвестиційні витрати по складах у різних регіонах різні, що було враховано на попередньому етапі проектування логістичної інфраструктури оператора.

Сумарні витрати на транспортне забезпечення проходження матеріального потоку через складську мережу оператора до споживачів формують критерій оптимальності для задачі, що розглядається:

$$R^{mp} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} R_j^{il_i} (X_j^{il_i}) + \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{m_i \neq l_i} R_{m_i}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{m_i}^{il_i} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} R_{sl_s}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{sl_s}^{il_i} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{k_i=1}^{K_i} R_{k_i}^{il_i} \left(\sum_{j=1}^J X_{k_i}^{il_i} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{s=1}^n \sum_{k_s=1}^{K_s} R_{il_i}^{sk_s} \left(\sum_{j=1}^J X_{il_i}^{sk_s} \right) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Далі необхідно визначити та сформулювати математично обмежувальні умови.

Перш за все, обмежувальними умовами є потужності потоків у пунктах зародження a_j (у даному випадку у портах), та потреби по стокам b_j^k (споживачам), які формуються наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} X_j^{il_i} = a_j, (j = \overline{1, J}), \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l_i=1}^{L_i} X_{l_i}^{jk_i} + \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} X_{sl_s}^{jk_i} = b_j^k, \quad (i = \overline{1, n}, k_i = \overline{1, K_i}, j = \overline{1, J}), \quad (14)$$

(13) відображає той факт, що все, що прийшло в j -ий порт - має бути звідти відправлено на склади L_i всіх розглянутих регіонів n .

(14) відображає те, що кожному споживачу (стоку) з безлічі K_i кожного з n регіонів товар може бути доставлений з регіональних складів L_i або зі складів інших регіонів $L_s, s \neq i$.

Далі формуються обмежувальні умови по ємностям складів у кожному регіоні – сумарна потужність матеріальних потоків, яка проходить через склади регіону, повинна не перевищувати задані обмеження. На базі економіко-математичної моделі, представленій вище, були визначені величини $X^{екл,i}$, які характеризують сумарну ємність складів у регіоні. Тому дані величини є екзогенними параметрами на даному етапі проектування. Виконаємо перепозначення: $X^{екл,i} = Q^i$.

Обмеження за сумарною ємністю складів регіону, тобто потужності потоків, які проходять через склади, повинні не перевищувати задану ємність:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{l_i=1}^{L_i} X_j^{il_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{m_i \neq l_i} X_{m_i}^{jil_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{l_i=1}^{L_i} \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} X_{sl_s}^{jil_i} \leq Q^i, (i = \overline{1, n}), \quad (15)$$

У (15) перший доданок – кількість товару, яка поставляється на склади регіону з портів (потужність матеріального потоку на ділянці «порт – регіон»). Друге – зі складів того ж регіону (потужність матеріального потоку на ділянці «склад – склад – один регіон»). Третє – зі складів інших регіонів (потужність потоку на ділянці «склад–склад–різні регіони»).

Балансові обмеження по складах описують баланс потужностей вхідних та вихідних потоків від кожного постачальника (у даному випадку кожного порту) представленого на рис. 3:

$$X_j^{il_i} + \sum_{m_i \neq l_i} X_{m_i}^{jil_i} + \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} X_{sl_s}^{jil_i} = \sum_{k_i=1}^{K_i} X_{k_i}^{jik_i} + \sum_{s=1}^n \sum_{k_s=1}^{K_s} X_{il_i}^{jsk_s} + \sum_{m_i \neq l_i} X_{l_i}^{jilm_i} + \sum_{s=1}^n \sum_{l_s=1}^{L_s} X_{il_i}^{jisl_s}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, j = \overline{1, J}, \quad (16)$$

Відзначимо, що параметри управління моделі що розробляється повинні приймати не негативні значення:

$$X_j^{il_i} \geq 0, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, \quad (17)$$

$$X_{m_i}^{jil_i} \geq 0, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, m_i = \overline{1, L_i}, l_i \neq m_i, \quad (18)$$

$$X_{sl_s}^{jil_i} \geq 0, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, s = \overline{1, n}, l_s = \overline{1, L_s}, i \neq s, \quad (19)$$

$$j = \overline{1, J}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, k_i = \overline{1, K_i}, \quad (20)$$

$$X_{il_i}^{jsk_s} \geq 0, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}, s = \overline{1, n}, s \neq n, k_s = \overline{1, K_s}, \quad (21)$$

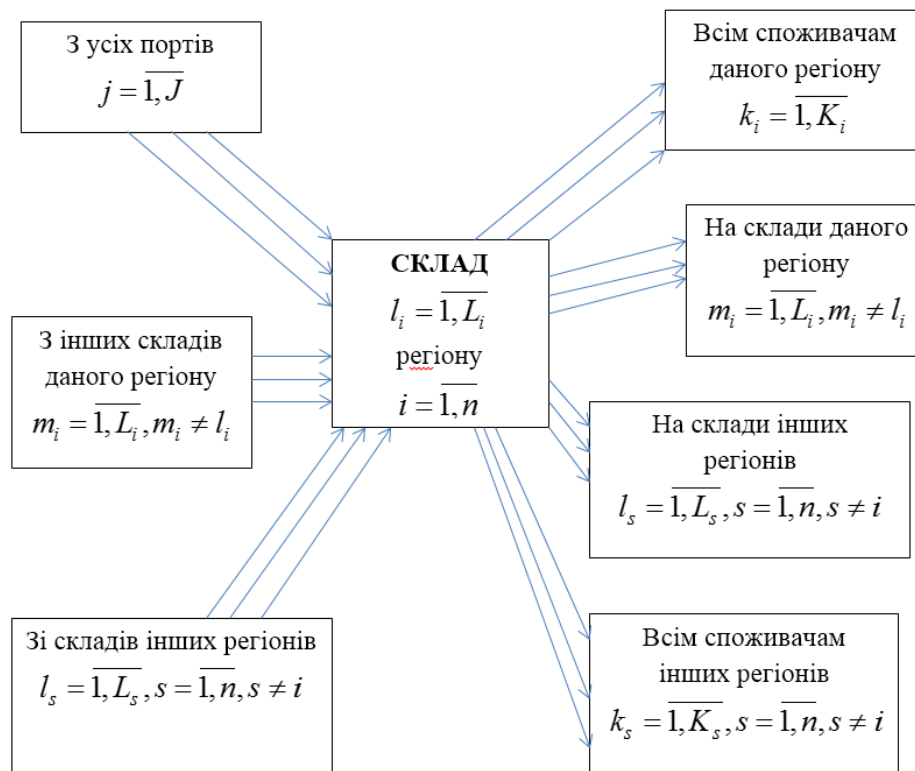


Рис. 3 – Баланс вхідних та вихідних матеріальних потоків через склад, як елемент логістичної інфраструктури оператора

Сформульована система обмежень може бути доповнена обмеженнями по ємності кожного складу (наприклад, склад уже готовий та здається в оренду або продається) наступного вигляду:

$$\sum_{j=1}^J X_j^{il_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{\substack{m_i=1 \\ m_i \neq l_i}}^{L_i} X_{m_i}^{jil_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^n \sum_{\substack{l_s=1 \\ l_s \neq i}}^{L_s} X_{l_s}^{jil_i} \leq Q_i^i, (i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}), \quad (22)$$

де Q_i^i – верхня межа ємності кожного з розглянутих складів, яка задається.

Також модель може бути доповнена обмеженнями по нижній межі ємності складу з точки зору доцільності (наприклад, якщо сумарна потужність проходить через склад потоків менше заданої величини $Q_i^{\min, i}$, то організація такого складу недоцільна):

$$\sum_{j=1}^J X_j^{il_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{\substack{m_i=1 \\ m_i \neq l_i}}^{L_i} X_{m_i}^{jil_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^n \sum_{\substack{l_s=1 \\ l_s \neq i}}^{L_s} X_{l_s}^{jil_i} \geq Q_i^{\min, i}, (i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}), \quad (23)$$

$$Q_i^{ck, i} = \sum_{j=1}^J X_j^{il_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{\substack{m_i=1 \\ m_i \neq l_i}}^{L_i} X_{m_i}^{jil_i} + \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^n \sum_{\substack{l_s=1 \\ l_s \neq i}}^{L_s} X_{l_s}^{jil_i}, (i = \overline{1, n}, l_i = \overline{1, L_i}). \quad (24)$$

Обговорення результатів дослідження проектування конфігурації складської мережі. Таким чином, сформульовано критерій оптимальності (сумарні транс-

портні витрати), система обмежуючих умов та умови не заперечності параметрів управління економіко-математичної моделі. Проектування конфігурації складської мережі транспортно-експедиторської компанії у процесі її трансформації в логістичного оператора.

Відзначимо, що економіко-математична модель також може використовуватися для обґрунтування портів, які беруть участь у проведенні матеріальних потоків шляхом введення ще однієї групи параметрів управління, які характеризують обсяги поставок від постачальників у порти.

Пропонована економіко-математична модель (12) – (23) не враховує обмеження по провзній спроможності транспортних засобів, з припущення, що їх досить для забезпечення розглянутих матеріальних потоків. Рішення зазначеної задачі за допомогою даної моделі забезпечить отримання оптимальної конфігурації складської мережі. При цьому для безлічі обраних складів (яким у оптимальному плані будуть відповідати ненульові параметри управління, пов'язані з ними) величини характеризують ємність складів, де $Q_i^{ck, i}$ – необхідна ємність складу з урахуванням потужності яка проходить через матеріальний потік.

Дана економіко-математична модель дозволяє встановлювати конфігурацію складської мережі логістичного оператора та розподіляти матеріальні потоки між портами, регіонами, складами.

Висновки. У результаті проведених досліджень:

1. Розроблено економіко-математичну модель, яка дозволяє спроектувати конфігурацію складської мережі з урахуванням специфіки обслуговування вантажопотоків транспортно-експедиторською компанією для забезпечення мінімальних транспортних ви-

трат, а також розподіляти матеріальні потоки між портами, регіонами, складами.

2. Визначено схеми роботи транспортних засобів у процесі, з урахуванням транспортних зв'язків в сис-

темі складів логістичного оператора, що враховує можливості міжрегіональних зв'язків й таким чином, охоплює всі можливі варіанти.

Список літератури:

1. Константинов, Р. В. Проектирование оптимальной складской сети [Текст] / Р. В. Константинов // Инженерный вестник Дона. – 2011. – Т. 18, № 4. – С. 243–250.
2. Иванова, Н. В. Факторы формирования логистической инфраструктуры на предприятиях по производству питьевой бутилированной воды [Электронный ресурс] / Н. В. Иванова // Управление экономическими системами. – Режим доступа: <http://uecs.ru/marketing/item/1517-2012-08-31-05-22-38>
3. Покровская, О. Д. Алгоритмизация задачи комплексного расчета параметров терминальной сети региона [Текст] / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. – 2011. – № 1 (28). – С. 10–13.
4. Покровская, О. Д. Инновационно-методологический подход к обоснованию создания в регионе сети терминалов как единого транспортно-экспедиционного пространства (на примере Кемеровской области) [Текст] / Т. П. Воскресенская, О. Д. Покровская // Транспорт Урала. – 2010. – № 1 (24). – С. 23–27.
5. Boulding, W. A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectations to Behavioral Intentions [Text] / W. Boulding, A. Kalra, R. Staelin, V. A. Zeithaml // Journal of Marketing Research. – 1993. – Vol. 30, Issue 1. – P. 7. doi: [10.2307/3172510](https://doi.org/10.2307/3172510)
6. William, M. Marketing (International Edition) [Electronic resource] / M. William, O. C. Ferrell. – Houghton MIFFLIN Company Boston, 1995. – Available at: <http://trove.nla.gov.au/work/28296078>
7. Schnaars, S. P. Marketing Strategy: Customers & Competition [Text] / S. P. Schnaars. – New York: Free Press, 1998. – 216 p.
8. Prahalad, C. K. The Core Competence of the Corporation [Text] / C. K. Prahalad, G. Hamel. – Harvard Business review, 1990.
9. Очеретна, В. В. Аналіз інтегрованої логістичної системи на прикладі роботи транспортно-експедиторської компанії [Текст] / В. В. Очеретна // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2014. – Т. 6, № 3 (20). – С. 16–20. doi: [10.15587/2312-8372.2014.31348](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.31348)
10. Юдин, Б. Д. Математические методы управления в условиях неполной информации [Текст] / Б. Д. Юдин. – М.: Сов. радио, 1974. – 400 с.

Bibliography (transliterated):

11. Konstantinov, R. V. (2011). Proektirovanie optimal'noy skladsКОЙ seti. Inzhenernyy vestnik Dona, 18 (4), 243–250.
12. Ivanova, N. V. Faktory formirovaniya logisticheskoy infrastruktury na predpriyatiyah po proizvodstvu pit'evoy butilirovannoy vody. Upravlenie ekonomicheskimi sistemami. Available at: <http://uecs.ru/marketing/item/1517-2012-08-31-05-22-38>
13. Pokrovskaya, O. D., Voskresenskiy, I. V. (2011). Algoritmizatsiya zadachi kompleksnogo rascheta parametrov terminal'noy seti regiona. Transport Urala, 1 (28), 10–13.
14. Pokrovskaya, O. D., Pokrovskaya, O. D. (2010). Innovatsionno-metodologicheskiy podhod k obosnovaniyu sozdaniya v regione seti terminalov kak edinogo transportno-ekspeditsionnogo prostranstva (na primere Kemerovskoy oblasti). Transport Urala, 1 (24), 23–27.
15. Boulding, W., Kalra, A., Staelin, R., Zeithaml, V. A. (1993). A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectations to Behavioral Intentions. Journal of Marketing Research, 30 (1), 7. doi: [10.2307/3172510](https://doi.org/10.2307/3172510)
16. William, M., Ferrell, O. C. (1995). Marketing (International Edition). Houghton MIFFLIN Company Boston. Available at: <http://trove.nla.gov.au/work/28296078>
17. Schnaars, S. P. (1998). Marketing Strategy: Customers & Competition. New York: Free Press, 216.
18. Prahalad, C. K., Hamel, G. (1990). The Core Competence of the Corporation. Harvard Business review.
19. Ocheretna, V. V. (2014). Analysis of the integrated logistic system on example of transport forwarding firm work. Technology Audit and Production Reserves, 6 (3 (20)), 16–20. doi: [10.15587/2312-8372.2014.31348](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.31348)
20. Yudin, B. D. (1974). Matematicheskie metody upravleniya v usloviyah nepolnoy informatsii. Moscow: Sov. radio, 400.

Надійшла (received) 26.10.2017

Бібліографічні описи/ Библиографические описания/ Bibliographic descriptions

Проектування конфігурації складської мережі/ Gladkovskaya V. V. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 33(1255). – С.29–34. – Бібліогр.: 20 назв. – ISSN 2079-5459.

Проектирование конфигурации складской сети/ Gladkovskaya V. V. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 33(1255). – С.29–34. – Бібліогр.: 20 назв. – ISSN 2079-5459.

Designing the configuration of the warehouse network/ Gladkovskaya V. V. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 33 (1255). – P. 29–34. – Bibliogr.:20. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гладковська Валентина Валеріївна – асистент, Одеський національний морський університет, асистент кафедри «Судноводіння і морська безпека», м. Одеса, Україна, 65000 вул. Мечникова, 34.

Gladkovskaya Valentina Valer'evna – асистент, Одесский национальный морской университет, ассистент кафедры «Судовождение и морская безопасность», г. Одесса, 65000, Украина ул. Мечникова, 34

Gladkovskaya Valentyna – assistant, Odessa National Maritime University, assistant of the department «Navigation and Maritime Safety», str. Mechnikova, 34, Odessa, Ukraine, 65000; e-mail: fikyss2003@rambler.ru.