

О. Є. ФЕДОРОВИЧ, Н. В. ЄРЕМЕНКО

УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ В РІЗНОРІДНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Вирішено завдання побудови методів і моделі інформаційної технології логістичного управління вантажопотоками в різномірних транспортних мережах при формуванні складних каналів доставки вантажів. Запропоновано метод розрахунку основних показників вантажоперевезень. Описано модель управління вантажоперевезеннями з використанням фракталів і агентного моделювання. Запропоновано послідовність формування фрактальної моделі управління. Побудовано архітектуру прикладної інформаційної технології логістичного управління вантажоперевезеннями.

Ключові слова: різномірна транспортна мережа, мультимодальні вантажоперевезення, пункт перевалки, складування, управління збутом, фрактали, агенти, інформаційна технологія.

Вступ. Глобалізація виробництва, ринків постачання і збуту продукції, а також необхідність забезпечення високої швидкості реагування на потреби ринку вимагають впровадження ефективних механізмів управління сучасним підприємством. Виникнення розподілених на великій території потоків сировини і матеріалів, готової продукції, а також розподіленість споживачів і постачальників, привели до необхідності вдосконалення системи планування, управління і контролю вантажопотоків з метою мінімізації витрат, пов'язаних з транспортуванням і складуванням [1, 2].

В даний час великі компанії і корпорації, пов'язані з масовим випуском продукції, використовують для доставки вантажів різні транспортні магістралі, що, зі свого боку потребує розробки методу для обґрунтування і вибору пунктів перевалки вантажів при стикуванні магістралей. При цьому перехід вантажів з однієї транспортної магістралі на іншу призводить до нових проблем і витрат, які необхідно враховувати в логістиці мультимодальних перевезень. Оптимізація цих витрат є актуальним завданням в логістиці доставки вантажів споживачам [3].

Крім того, ефективне функціонування підприємства неможливе без впровадження сучасної інформаційної технології управління, яка дасть змогу збільшити конкурентні переваги підприємства завдяки

інформаційній підтримці супроводу каналів постачання і збуту продукції по всьому логістичному ланцюгу, оперативного управління окремими ланками і процесами постачання, збуту і доставки товарів, зменшення складських запасів, оптимізації термінів доставки, раціонального використання транспортних засобів і т. д.

Тому побудова методів і моделі інформаційної технології управління вантажоперевезеннями в умовах територіальної розподіленості учасників логістичного ланцюга, а також складних каналів доставки вантажів в різномірній транспортній мережі є актуальним.

Мета роботи: мінімізація витрат, пов'язаних з вантажоперевезеннями, шляхом створення методів і моделі прикладної інформаційної технології логістичного управління вантажопотоками в різномірній транспортній мережі.

Постановка задачі. В якості розподіленої логістичної системи дистриб'юцій (РЛСД) в роботі розглядається логістична система, що містить крім виробників і споживачів продукції множини пунктів перевалки (ПП) і розподілу вантажів у різномірній транспортній мережі, що формуються, якщо магістралі різномірної транспортної мережі знаходяться досить близько одна від одної або їх поєднано на одній площі. Розглянуто можливі варіанти реалізації ПП, що пов'язані з доставкою

вантажів по одній транспортній магістралі та переходом (додаткове транспортування; складування; перевалка) на іншу транспортну магістраль. Вирішено два типи ПП:

– стаціонарні ПП, призначені для складування, зберігання і перевалки продукції, в якості яких можуть використовуватися розподільчі центри дистрибуції (РЦД);

– тимчасові ПП, призначені для перевалки вантажів в різномірній транспортній мережі, коли різні магістралі знаходяться досить близько одна від одної або їх поєднано на одній площі. У цьому випадку, як можливий варіант, можуть бути використані вузли транспортної мережі.

Розглянутий в статті об'єкт є складною системою, що постійно змінюється і розвивається, та пов'язаний з використанням різномірних елементів при побудові структури системи, необхідністю стикування різних транспортних систем і складною динамікою вантажопотоків, канали яких формуються шляхом інтеграції каналів окремих мереж. У зв'язку з цим виникає необхідність аналізу структурного, динамічного та управлінського аспектів системи, які дозволять комплексно оцінити ефективність за допомогою запропонованих показників і дати рекомендації для планування, модернізації та управління каналами збуту.

Результати дослідження. Вирішення задачі формування структури каналів доставки вантажів складається з кількох етапів.

1. Обґрунтування використання стаціонарних ПП для місць складування, зберігання і перевалки вантажів. Для цього необхідно провести:

а) сегментацію споживачів готової продукції, що здійснюється з використанням кластерного аналізу (рис. 1). Аналіз показав,

що складність управління вантажними потоками в розподіленому логістичному ланцюзі значною мірою обумовлена територіальною розподіленістю основних її учасників (постачальників, виробників і споживачів), а також інтенсивністю споживання продукції кінцевими споживачами, яка визначає періодичність поставок, а, отже, і вартість перевезень. Тому сегментація проводилася на основі аналізу інтенсивності споживання продукції та територіальної близькості споживачів з використанням кластерного аналізу з метою формування множини альтернативних варіантів розміщення місць зберігання та складування продукції. Результатом проведеної сегментації є сформована множина кластерів, центри розсіювання яких являють собою альтернативні варіанти розміщення РЦД;

б) порівняння варіантів з множини альтернатив (можливих варіантів розміщення РЦД, отриманих раніше) на основі багатокритеріальної оптимізації в умовах можливої нечіткості вхідних даних (рис. 2). Застосування нечіткого ранжування (оцінювання ступеня важливості/відповідності критеріїв та альтернатив з допомогою нечіткої функції приналежності) дало змогу застосувати метод як для кількісних, так і для якісних критеріїв. Перевагою запропонованого методу є виявлення одночасно як найкращого, так і найгіршого варіантів розташування РЦД. Передбачено, що компромісний варіант має бути найбільш близьким до позитивного (ідеального) рішення і знаходитися на допустимій відстані від негативного (гіршого) рішення. Унаслідок вирішення задачі множини альтернативних місць розміщення РЦД було проранжовано за заданими критеріями й виділено найкращі варіанти розміщення РЦД.

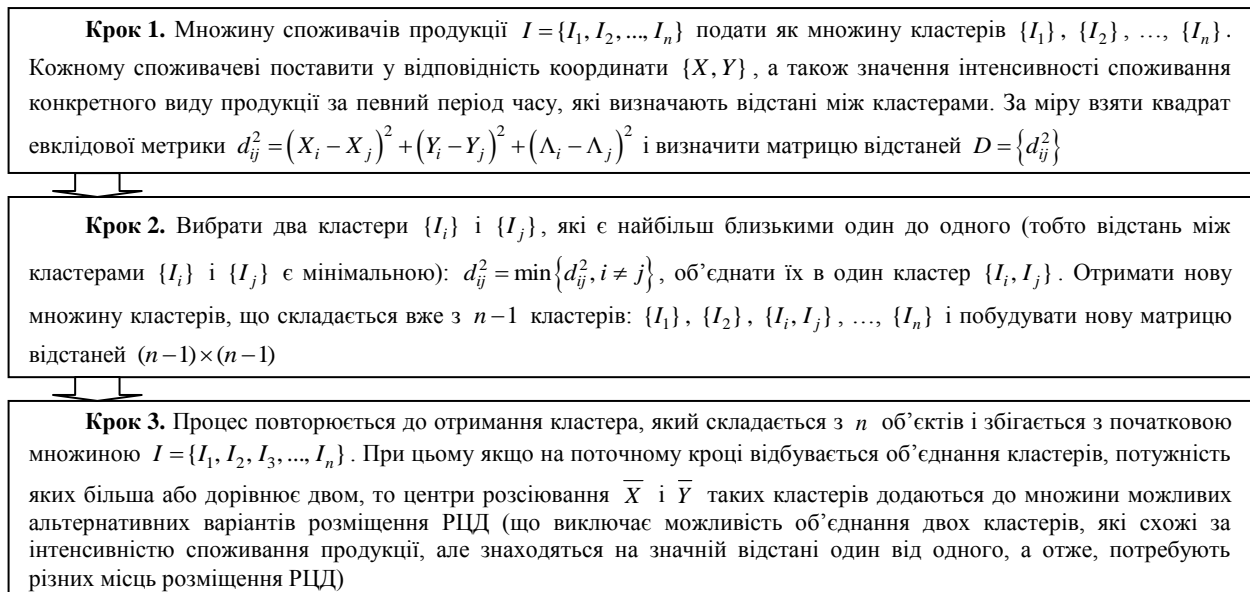


Рис. 1 – Послідовність кластеризації кінцевих споживачів

2. Обґрунтування ПП, призначених для стикування різних транспортних магістралей із застосуванням методу цілочислового лінійного програмування та багатокритеріальної оптимізації для мінімізації логістичних витрат. Для оцінювання логістичних витрат при стикуванні різних транспортних магістралей було введено такі показники: вартість оренди площі для організації ПП (A); вартість технологічного обладнання для формування ПП (B); вартість робіт, пов'язаних зі створенням або модернізацією ПП (C); витрати на персонал ПП (D); ризики, пов'язані з організацією ПП (E); час, витрачений на перевантаження (F) одиниці вантажу (наприклад, контейнер); обсяг перевезеного вантажу (V). Запропоновано багатокритеріальну постановку задачі оптимізації витрат, пов'язаних зі стикуванням різних транспортних магістралей при використанні ПП з уведенням комплексного критерію W для оцінювання витрат на основі методу ідеальної точки з урахуванням обмеження на обсяг вантажів, який необхідно доставити споживачу (не менше за встановлене значення). У цьому випадку кожному варіанту S_i розміщення ПП ставиться у відповідність набір оцінок за виділеними показниками $S_i = \{A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i, V_i\}$ та вводиться поняття

ідеальної точки $S = \{A^-, B^-, C^-, D^-, E^-, F^-, V^-\}$, для якої оцінки по всім виділеним показникам є найкращими. Тоді узагальнений критерій буде мати такий вигляд [4]:

$$W = (\alpha_A (A_i - A^-)^p + \alpha_B (B_i - B^-)^p + \alpha_C (C_i - C^-)^p + \alpha_D (D_i - D^-)^p + \alpha_E (E_i - E^-)^p + \alpha_F (F_i - F^-)^p + \alpha_V (V^- - V_i)^p)^{1/p},$$

де $p = 1, 2, 3, \dots$;

$\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F, \alpha_V$ – «ваги» (значущість) показників, які оцінюються з допомогою експертів, $\sum_{k=1}^7 \alpha_k = 1$.

Найкращим варіантом організації каналів збуту (з використанням ПП для стикування різнорідних транспортних мереж) є варіант, для якого значення комплексного критерію W буде мінімальним.

3. Структурний аналіз, який полягає в перерахуванні варіантів каналів доставки вантажів з урахуванням можливих типів розподільчих центрів, а також рівнів мережі (регіональний і мультирегіональний) із застосуванням методів теорії перерахування та розміщення РЦД пов'язана з різною топологією

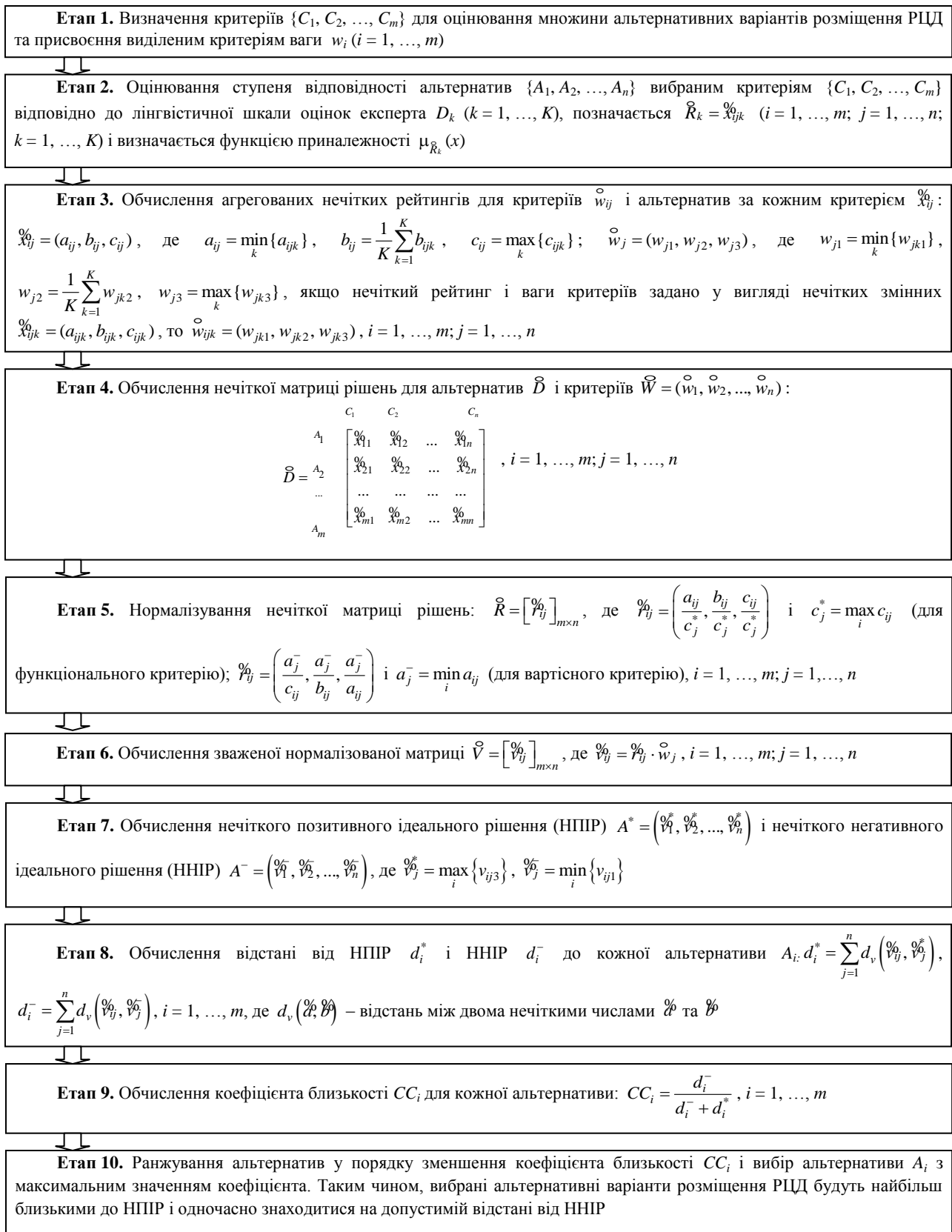


Рис. 2 – Етапи методу багатокритеріальної оптимізації в умовах нечіткості вхідних даних транспортних мереж, а також типами РЦД, що використовуються для розрахунку можливих варіантів структури каналів вантажоперевезень. При цьому вирішено такі задачі [5, 6]:

а) перераховано варіанти формування каналів збуту з урахуванням наявних РЦД,

зафіксованих у вузлах різномірної транспортної мережі;

б) перераховано можливі варіанти для побудови нових каналів збуту (модернізації існуючих) з можливим розміщенням РЦД на мультирегіональному й регіональному рівнях з урахуванням типів ПП.

З метою проведення аналізу динамічних аспектів РЛСД розроблено метод розрахунку основних показників вантажоперевезень в різномірній транспортній мережі з використанням багатозанної моделі системи масового обслуговування (СМО) [7]. Метод враховує інтенсивності вантажопотоків у транспортному обслуговуванні, що дає змогу розрахувати планові показники збуту продукції [8].

Канал збуту продукції формується як траєкторія руху вантажів від виробника до кінцевих споживачів через множину РЦД і ПП з урахуванням доступних транспортних магістралей. При цьому можливими є два варіанти конфігурації структури каналів збуту продукції:

– кожен ПП (стаціонарний або тимчасовий) пов'язаний з кожним кінцевим споживачем; у такій системі майже не виникає дефіцит продукції на складах для відвантаження споживачам;

– РЛСД являє собою розподілену систему; у цьому випадку її можна описати з допомогою СМО, у якій потік замовлень (заявки на продукцію) має обмежені засоби для їх задоволення (обмежений обсяг запасів товарів, що зберігаються в РЦД).

Дослідження проводилося для різних рівнів подання каналів збуту продукції:

а) на регіональному рівні РЦД можна подати у вигляді пунктів перевалки вантажів з k -ї на $(k+1)$ транспортну магістраль. Для моделювання вантажних потоків у цьому випадку застосовано Марківську модель розмноження й загибелі зі станами (n, k) , $0 \leq n \leq N$, $0 \leq k \leq S$, де n – кількість споживачів, що обслуговуються поточним РЦД; k – кількість продукції, що зберігається на складі і яку може бути відвантажено споживачам. Для стаціонарного стану отримано такі показники: рівень запасів; кількість затриманих замовлень (унаслідок відсутності товару на складі); кількість заявок у системі; час очікування; та ін.;

б) на мультирегіональному рівні крім використовуваних для складування РЦД для доставки вантажів кінцевим споживачам уводяться додаткові ПП, що забезпечують стиковку різних транспортних магістралей. Наявність додаткових ПП, кожен з яких має свою інтенсивність оброблення вантажів, що надходять, дає змогу подати РЛСД як багатозанну систему і застосувати відповідні методи розрахунку СМО. У розділі наведено розрахунок часових показників багатозанної моделі для послідовних каналів. Розрахунок транспортної мережі, що складається з однакових (ланки, які мають однакову інтенсивність μ оброблення заявок в системі) або різних (інтенсивності μ_i оброблення заявок в системі відмінні) ланок, проводиться за спрощеною схемою, у якій кожна ланка розраховується окремо, оскільки для простоти розрахунків передбачається, що ланки одна на одну не впливають. Запропонований метод дав змогу визначити щільності $f(t)$ і функції $F(t)$ розподілу часу перебування заявки в системі для таких випадків:

1) ПП мають однакову інтенсивність обслуговування:

$$f(t) = \frac{c(ct)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-ct},$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = -\sum_{i=1}^n \frac{c(ct)^{i-1}}{(i-1)!} e^{-ct} \Big|_0^t = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{c(ct)^{i-1}}{(i-1)!} e^{-ct};$$

2) інтенсивність обслуговування ПП є різною:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-c_i t},$$

$$\text{де } A_i = \frac{\prod_{j=1}^n c_j}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (c_i - c_k)};$$

n – кількість ланок у системі;

$$F(t) = \prod_{i=1}^n c_i \sum_{j=1}^n \frac{e^{-c_j t} - 1}{\prod_{\substack{j,k,m=1 \\ k>m \\ k=j \text{ або } m=j}}^n (-1)^{j+1} c_j (c_k - c_m)};$$

3) змішаний випадок:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{A_{ij} t^{(n_i-j)}}{(n_i-j)!} e^{-c_i t},$$

$$\text{де } A_{ij} = \frac{1}{(j-1)!} \frac{\partial^{j-1}}{\partial s^{j-1}} \left[(s+c_i)^{n_i} B(s) \right]_{s=-c_i};$$

$$F(t) = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{A_{ij}}{(n_i-j)!} \int_0^t t^{(n_i-j)} e^{-c_i t} dt =$$

$$= \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{A_{ij}}{(n_i-j)!} \left(\frac{t^{(n_i-j)} e^{-c_i t}}{-c_i} + \frac{n_i-j}{c_i} \int_0^t t^{(n_i-j)-1} e^{-c_i t} dt \right),$$

де $B(s)$ – перетворення щільності розподілу часу перебування заявки в системі з константою $c = \mu(1-\rho)$ (для однакових ланок) або $c_i = \mu_i(1-\rho_i)$ (для різних ланок) за Лапласом;

λ – інтенсивність надходження заявок в системі;

ρ – завантаження в одній ланці, $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$,

$$\rho_i = \frac{\lambda}{\mu_i};$$

s – змінна диференціювання.

Отримані результати було використано при визначенні середніх значень часових показників транспортування вантажів від виробника до кінцевих споживачів через РЦД і ПП, зокрема, повний час проходження заявки в системі визначає час доставки товарів споживачам, сумарний час очікування визначає час «пролежування» товарів на складі перед відправкою споживачам.

Для створення моделі управління вантажоперевезеннями в різномірній транспортній мережі було використано агентну й фрактальну моделі. Під фракталами в роботі розуміється множина самоподібних агентів, що додає до основних властивостей фракталів (самоподоба, самоорганізація, самооптимізація, орієнтація на мету, динамічність) ще й такі важливі характеристики агентів, як автономність, мобільність і кооперативність, що підвищує ефективність системи управління вантажоперевезеннями [9].

Для формування моделі управління вантажоперевезеннями в різномірній транспортній мережі було сформовано склад агентів для побудови алгоритму управління системою. За основу запропонованої

фрактальної архітектури було взято п'ять функціональних модулів: репортер, спостерігач, організатор, аналізатор і резольвер. Спостерігач і репортер є керуючими модулями і контролюють вхідну і вихідну інформацію фракталів (наприклад, інформація про замовлення, терміни доставки, тощо). Організатор перевіряє фрактальні статуси (цілі) і управляє фрактальною структурою (додавання або видалення фракталів, що може бути пов'язано, наприклад, з виникненням нових каналів збуту або поставок продукції або, навпаки, з відмовою від будь-яких каналів). Найбільш важливе значення серед усіх функціональних модулів з управління ланцюгами поставок у фрактальній моделі мають аналізатор і резольвер, які являють собою модулі, що використовуються в управлінні. Так, аналізатор містить агенти, призначені для симуляції і планування. Основною його функцією є аналіз і розрахунок прибутковості фракталу на основі його цільового призначення та вартісної інформації. Після проведення вартісного аналізу аналізатор об'єднує отриману інформацію і передає її резольверу для подальшої оптимізації. Резольвер контролює взаємодію між фракталами з урахуванням сформованих цілей для прийняття управлінських рішень.

Розроблену модель управління ланцюгами поставок орієнтовано на досягнення заданої мети, тому ключовим моментом при організації управління є опис процесу формування мети функціонування всієї системи, яка являє собою інтеграцію цілей фракталів нижніх рівнів (підфракталів):

$$g_f = g_1 \oplus g_2 \oplus g_3 \dots \oplus g_n \oplus F_f,$$

де g_i – мета підфракталу i ($i=1, \dots, n$);

F_f – власна мета фракталу f .

Після того як систему цілей підфракталів створено, ініціюється процес їх гармонізації, який полягає у вирішенні можливих конфліктних ситуацій між підфракталами. Такий процес є зворотним відносно процесу формування цілей.

Цільову модель управління фрактальної системи спрямовано на максимізацію прибутку P_f , одержуваного від фракталу f :

$$\max P_f = \sum_{i=1}^n P_i - C^f,$$

де P_i – прибуток підфракталу i ;

C^f – логістичні витрати для фрактала f .

Формування фрактальної моделі управління (рис. 3) складається з послідовності кроків:

1) подати кожен компонент РЛСД як фрактал;

2) визначити базові відношення типу виробник – постачальник між фракталами й відокремити фрактали, які реалізують ці відношення;

3) якщо на кроці 2 отримано фрактал, що відображає структуру РЛСД цілком, то формування фрактальної структури завершити, інакше – повернутися до кроку 2.

В отриманій таким чином моделі управління вантажоперевезеннями ієрархія фракталів відповідає ієрархії логістичного ланцюга.

Розроблені методи і модель було використано як математичний інструментарій для створення прикладної інформаційної технології логістичного управління вантажоперевезеннями (ПТЛУВ) в різномірній транспортній мережі (рис. 4).

При створенні прикладної ІТ використано основні теоретичні результати проведеного дослідження. З допомогою прикладної ІТ менеджер транспортної логістики формує системне подання каналів вантажоперевезень і процесів управління. Далі використовується метод для формування структури каналів доставки вантажів, а також проводиться аналіз можливих варіантів структур. З допомогою розроблених методів розрахунку, визначаються основні показники вантажоперевезень.

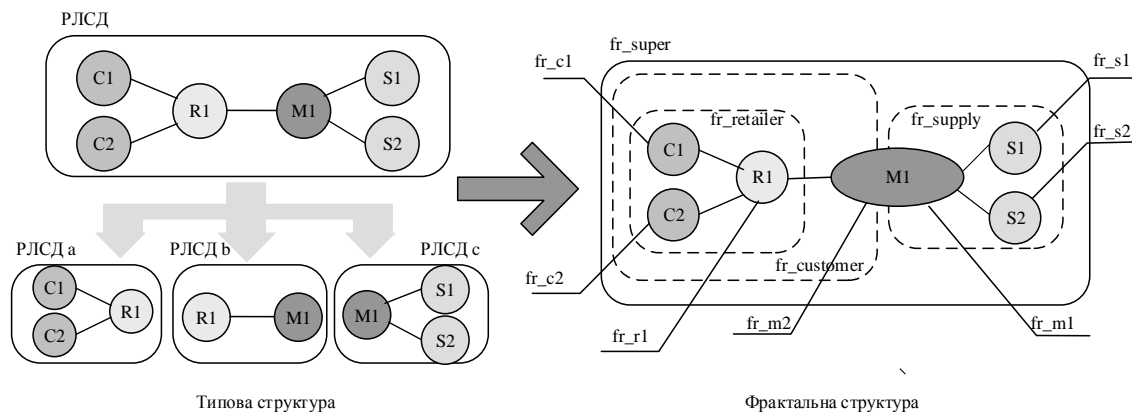


Рис. 3 – Формування фрактальної моделі управління

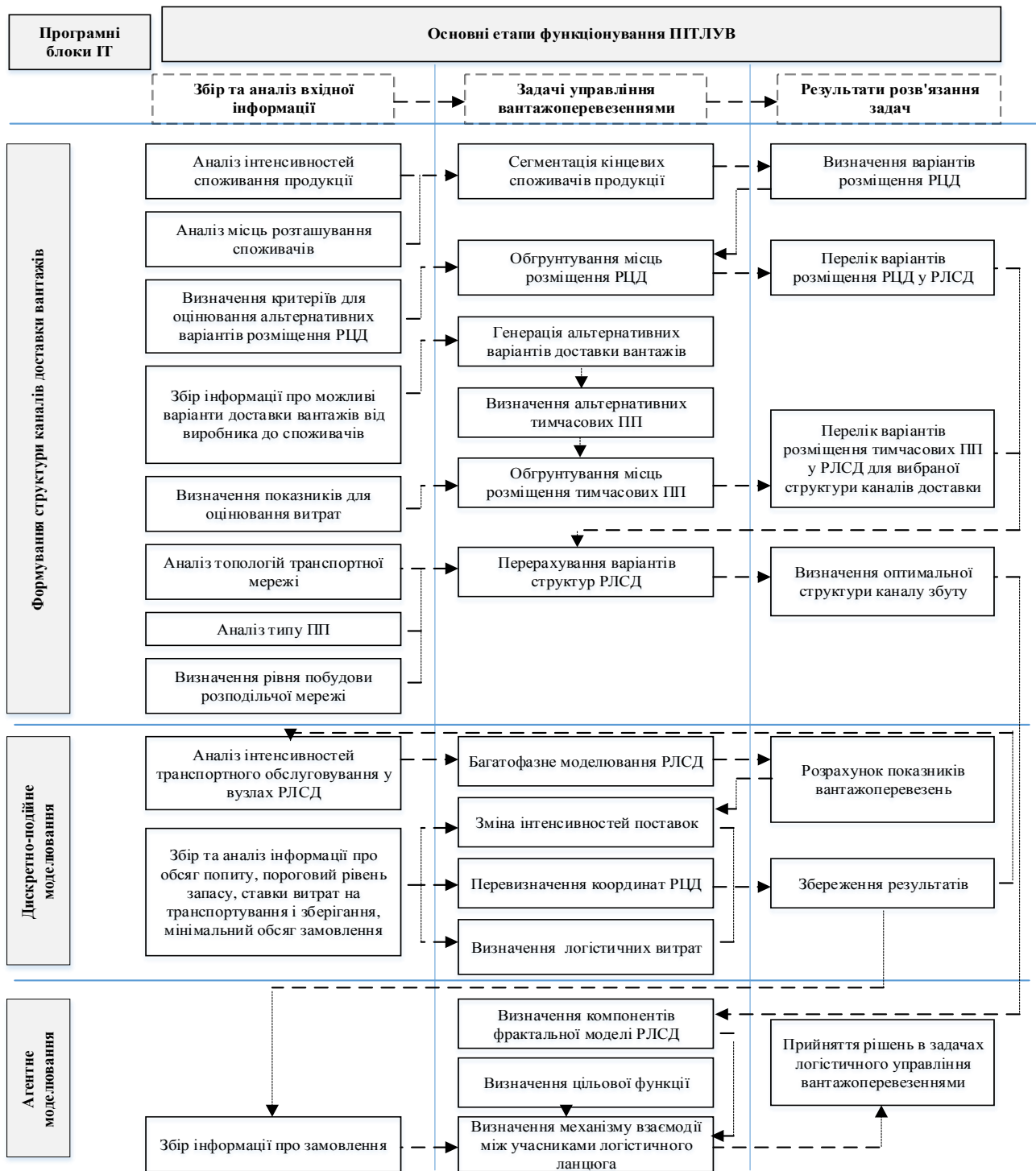


Рис. 4 – Схема ПІТЛУВ в різномірній транспортній мережі

Для управління вантажоперевезеннями використовується розроблена модель управління, що базується на фрактальному моделюванні та агентній технології.

Висновки. Узагальнені результати, одержані у ході дослідження, дають можливість сформулювати основні висновки роботи.

1. Розроблено метод формування структури каналів доставки вантажів в різномірній транспортній мережі, який дає змогу обґрунтувати використання місць складування і пунктів перевалки вантажів в різномірній транспортній мережі на основі сегментації ринку збуту з використанням багатокритеріальної оптимізації, нечіткої логіки і теорії перерахування.

2. Запропоновано кластеризацію множини споживачів, де враховано інтенсивність споживання продукції, а також їх територіальну розподіленість, що дає змогу визначити місця розміщення основних складових, які необхідні для стиковки різних транспортних магістралей (додакові навантаження-розвантаження, місця складування, спеціалізований транспорт для перевалки тощо).

3. Проведено структурний аналіз розподіленої системи вантажоперевезень із застосуванням методів теорії перерахування та комбінаторики, який дає змогу сформулювати альтернативні варіанти для обґрунтування вибору каналів вантажоперевезень в різномірній мережі. При цьому враховуються можливі типи розподільчих центрів, типи перевалок, а також топологія транспортної мережі як на регіональному, так і на мультирегіональному рівнях.

4. Запропоновано метод розрахунку основних показників вантажоперевезень на основі багатофазної моделі СМО, в якому розглянуто фази руху вантажів по каналах доставки, при цьому розраховуються основні статистичні показники вантажопотоків.

5. Розроблено модель управління вантажоперевезеннями, що базується на теорії фракталів та агентному моделюванні, у якій ієрархія фракталів відповідає ієрархії логістичного ланцюга, що дає змогу отримати адекватне подання управляючих впливів на кожному етапі управління вантажоперевезеннями з урахуванням можливих конфліктних ситуацій та заданих сценаріїв. Запропонована структура управління відповідає вимогам логістики та дозволяє вирішити такі задачі управління, як планування та контроль управління вантажоперевезеннями.

6. Розроблено ПІТЛУВ, яка включає розроблені методи та модель та яку може бути використано менеджерами підприємств та транспортними операторами. За допомогою запропонованої інформаційної технології формуються канали збуту продукції, оцінюються терміни перевезень, мінімізуються транспортні витрати, обґрунтовується розміщення складів, пунктів розподілу та перевалок.

Подальший розвиток розробленої прикладної інформаційної технології логістичного управління вантажоперевезеннями пов'язано з використанням її не тільки для перевезень національного рівня, а також міжнародних перевезень.

Список літератури: 1. *Годлевский, М. Д.* Формирование участников логистической сети цепочек поставок при стратегическом управлении [Текст] / *М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич, Л. С. Чернявская, Э. Е. Рубин* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 3 (977). – С. 27–34. 2. *Christopher, M.* Logistics & Supply Chain Management [Text] / *M. Christopher*. – Great Britain : Pearson Education Limited, 2011. – 276 p. 3. *Федорович, О. Е.* Геораспределенная производственная система. Размещение на земной поверхности, оптимизация магистральных систем, космический мониторинг [Текст] : монографія / *О. Е. Федорович, В. М. Илюшко, Л. Д. Греков*. – Х. : Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – 2014. – 206 с. 4. *Еременко, Н. В.* Моделирование взаимодействия разнородных транспортных систем в логистике грузоперевозок [Текст] / *Н. В. Еременко, В. А. Пуйденко* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 3 (67). – С. 133–136. 5. *Федорович, О. Е.* Перечисление множества вариантов логистической сети распределительных центров сбыта продукции [Текст] / *О. Е. Федорович, Н. В. Еременко* // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. // М-во освіти і науки України, Харк. ун-т Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – 2014. – Вип. 9 (125). – С. 205–208. 6. *Федорович, О. Е.* Модели оптимизации и конфигурирования логистической системы дистрибуций [Текст] / *О. Е. Федорович, К. О. Западня, Н. В. Еременко* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 4 (63). – С. 121–124. 7. *Клейнрок, Л.* Теория массового обслуживания [Текст] : пер. с англ. / *Л. Клейнрок*. – М. : Машиностроение, 1979. –

432 с. **8. Еременко, Н. В.** Многофазное моделирование сложных распределенных логистических систем [Текст] / Н. В. Еременко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 4 (68). – С. 157–162. **9. Ryu, K.** Agent-based fractal architecture and modeling for developing distributed manufacturing systems [Text] / K. Ryu, M. Jung // *Int J Prod Res.* – 2003. – № 7 (41). – P. 33–55.

Надійшла (received) 05.12.2015

Bibliography (transliterated): **1.** Godlevskij, et al. "Formirovanie uchastnikov logisticheskoy seti sepochek postavok pri strategicheskom upravlenii." *Visnyk NTU "HPI"*. No. 3 (977).2013. 27–34. Print. **2.** Christopher, M. *Logistics & Supply Chain Management*. Great Britain: Pearson Education Limited, 2011. Print. **3.** Fedorovich, O. E., V. M. Iljushko and L. D. Grekov. *Georaspredelelnaja proizvodstvennaja sistema. Razmeshhenie na zemnoj poverhnosti, optimizacija magistral'nyh sistem, kosmicheskij monitoring*. Kharkiv: Natsional'nyy aerokosmichnyy universytet im. M. Ye. Zhukovskoho "KhAI", 2014. Print. **4.** Eremenko, N. V., and V. A. Pujdenko. "Modelirovanie vzaimodejstvija raznorodnyh transportnyh sistem v logistike gruzoperevozok." *Radioelektronni i komp'yuterni systemy* 3.67 (2014): 133–136. Print. **5.** Fedorovich, O. E., and N. V. Eremenko. "Perechislenie mnozhestva variantov logisticheskoy seti raspreditel'nyh centrov sbyta produkcii." *Systemy obrobky informatsiyi*. No. 9 (125). Kharkiv: Khark. un-t Povitryanykh Syl im. I. Kozheduba, 2014. 205–208. Print. **6.** Fedorovich, O. E., K. O. Zapadnja and N. V. Eremenko. "Modeli optimizacii i konfigurirovanija logisticheskoy sistemy distrib'jucij." *Radioelektronni i komp'yuterni systemy* 4.63 (2013): 121–124. Print. **7.** Klejnrok, L. *Teorija massovogo obsluzhivaniya*. Moscow: Mashinostroenie, 1979. Print. **8.** Eremenko, N. V. "Mnogofaznoe modelirovanie slozhnyh raspredelennyh logisticheskikh sistem." *Radioelektronni i komp'yuterni systemy* 4.68 (2014): 157–162. Print. **9.** Ryu, K. "Agent-based fractal architecture and modeling for developing distributed manufacturing systems." *Int J Prod Res* 7.41 (2003): 33–55. Print.