

DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.4.180735

УДК 519.816, 681.518.2

Н.І. Недашківська\*

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

\*corresponding author: n.nedashkivska@gmail.com

## УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК НА ОСНОВІ ІЄРАРХІЧНОЇ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**Проблематика.** Інформація – один із ключових елементів для ефективного управління ланцюгом поставок (ЛП). Наявність своєчасної інформації забезпечує неперервне переміщення товарних потоків, мінімізує збитки компанії, пов'язані з відсутністю товарів або перевищенням складських запасів, дає змогу планувати виробництво продукції та фінансові потоки, враховувати зміни інтересів споживачів. Використовуються системи обміну інформацією між учасниками ЛП. Прогнозування майбутніх продажів необхідне для контролю потоку товарів, тому фірми виконують прогнозування споживчого попиту.

**Мета дослідження.** Оскільки наявна інформація має різну корисність для цілей прогнозування та прийняття рішень для різних учасників ЛП, постає задача оцінювання пріоритетності різних типів інформації в системі управління ЛП для отримання більш точного прогнозу споживчого попиту. Метою роботи є розробка алгоритму розрахунку величин відносної важливості або пріоритетності різних типів інформації в ЛП на основі ієрархічної моделі критеріїв та з використанням думок учасників ЛП.

**Методика реалізації.** Задачу системного оцінювання пріоритетності інформаційної потреби в системі управління ЛП сформульовано як задачу багатокритеріальної підтримки прийняття рішень (ППР). Виділено кілька типів інформації, яка може бути використана для прогнозування споживчого попиту; вони є альтернативами рішень. Побудовано ієрархічну модель ППР, яка включає критерії вартості отримання інформації від інших учасників ЛП, точності та надійності джерела інформації, ступеня її використання, а також інші критерії, які впливають на ефективність використання інформації для прогнозування попиту.

**Результати дослідження.** Запропоновано алгоритм аналізу системи управління ЛП на основі ієрархічної моделі ППР. Показано функціональні можливості розробленої системи ППР для розв'язання багатокритеріальних задач ППР, коли вхідною інформацією слугують оцінки суб'єктів ЛП.

**Висновки.** Розроблений алгоритм використовується для більш широкого класу задач ППР, зокрема коли частина експертних оцінок недостатньо узгоджена. В цьому випадку без участі експерта шукаються найбільш неузгоджені його оцінки, множина експертних оцінок коригується різними методами залежно від властивостей відповідних матриць парних порівнянь. Пропонований алгоритм включає декілька методів розрахунку локальних ваг елементів ієрархічної моделі ППР і різні методи агрегування цих ваг, що підвищує достовірність отриманих результатів.

**Ключові слова:** управління ланцюгами поставок; ієрархічна модель; багатокритеріальний аналіз; підтримка прийняття рішень; експертні оцінки; матриця парних порівнянь; узгодженість.

### Вступ

Останнім часом управління ланцюгами поставок визнано потужним інструментом для виживання на конкурентному ринку. Ланцюг поставок (ЛП) позначає ряд суб'єктів і видів діяльності підприємства, який може бути представлений п'ятьма основними процесами [1–5]: закупівлі, виробництво, розподіл, контакти із замовником, планування.

Для найкращої відповідності потребам клієнтів між учасниками ЛП розвиваються колективні відносини, спрямовані на покращення логістики, недопущення вибуття або перевищення запасів товарів [6, 7]. Учасники ЛП почали враховувати зміни інтересів споживачів, керуючи

обліком запасів, виробничими потужностями та виробництвом, а також управляючи постачанням. Переваги, які ЛП дає сучасному підприємству, полягають у намірі стабілізувати процес виробництва, здійснювати його з мінімальними витратами і забезпечувати в найкоротший строк задоволення всіх запитів замовників.

У більш широкому сенсі термін “ланцюг поставок” означає концепцію розвитку, націлену на оптимізацію ланцюга “закупівля – виробництво – розподіл – контакти із замовником – планування”. Управління ланцюгами поставок являє собою процес планування, організації, обліку, контролю, аналізу, регулювання, спрямований на досягнення стратегічних цілей учасників [2, 4].

Багато дослідників обговорювали роль інформації та якість цієї інформації для підвищення ефективності ланцюга поставок [1–10]. Обмін інформацією серед учасників сприяє переміщенню матеріального потоку ланцюга поставок, плануванню поповнення товарів, допомагає більш ефективно прогнозувати споживчий попит. Використання системи обміну інформацією розглядається як один із найважливіших факторів успіху ЛП.

Проте вся наявна інформація не може бути однаково корисною для цілей прогнозування та прийняття рішень для всіх учасників ЛП [11, 12]. Наприклад, інформація про попит або транзакції може бути більш важливою для роздрібних продавців, ніж для виробників, тоді як для виробників може бути важливішою інформація про товар або інвентар. Показано [8], що від централізованої системи обміну інформацією більше вирають виробники, ніж роздрібні торговці; тому пропонуються певні стимули для роздрібною торгівлі, щоб заохотити їх участь у обміні інформацією. Інформацію ділять на три типи [10, 11]: про продукт, про клієнтський попит і про транзакції, а також виділяють інвентарну інформацію. Ця класифікація широко варіюється залежно від суб'єктів, які беруть участь у ЛП.

### Постановка задачі

У роботі ставиться задача системно оцінити пріоритетність того чи іншого типу інформації в системі взаємного обміну інформацією між учасниками ЛП для отримання більш точного прогнозу споживчого попиту. *Метою роботи* є розробка алгоритму розрахунку величин відносної важливості або пріоритетності різних типів інформації в ЛП методами багатокритеріальної підтримки прийняття рішень на основі ієрархічної моделі з використанням думок учасників ЛП.

### Побудова моделі аналізу системи управління ланцюгом поставок

ЛП – це методика, яка дає можливість оптимізувати комунікації в керівництві підприємством. Особливість такого підходу в тому, що він охоплює весь виробничий процес від постачальників до кінцевих замовників із постійним забезпеченням руху інформації між усіма учасниками процесу.

Основними аспектами успішної роботи ЛП для підприємства є [13–15]:

- зниження потреби в оборотному капіталі за рахунок скорочення запасів, рентабельність і надання можливості інвестувати в дослідження та модернізацію виробництва;

- підвищення якості обслуговування клієнтів через кероване планування виробництва.

Один із ключів успіху ефективного управління ЛП – обмін інформацією в режимі реального часу і створення колегіального рішення всіма без винятку учасниками процесу [1–16]. Це допомагає звести до мінімуму час реагування і зробити більш ефективними плани коригувальних дій щодо ризиків, пов'язаних із перебоями у поставках, неналежною якістю, зміною споживчого попиту тощо. Прогнозування майбутніх продажів є необхідним для контролю потоку товарів, тому фірма повинна мати точний прогноз споживчого попиту.

Задачу системного оцінювання пріоритетності інформаційної потреби в системі обміну інформацією між учасниками ЛП сформулюємо як *задачу багатокритеріальної підтримки прийняття рішень* (ППР).

Головна ціль – аналіз важливості інформації для підвищення точності прогнозу споживчого попиту. В [16] показано, що в сучасних системах управління ЛП декілька типів інформації можуть бути використані для прогнозування попиту; ці типи в роботі є *альтернативами рішень*:

- 1) інформація про щоденні або щотижневі продажі ( $a_1$ );

- 2) замовлення ( $a_2$ );

- 3) локальні прогнози ( $a_3$ ), які надаються кожним споживачем;

- 4) інформація про конкурентів ( $a_4$ ), корисна під час виведення нового товару, яка проте є більш дорогою;

- 5) дані обліку товарів ( $a_5$ ) для зменшення вартості запасів;

- 6) інформація про рекламні акції ( $a_6$ );

- 7) сезонні продажі ( $a_7$ );

- 8) політика уряду щодо експорту і виробництва ( $a_8$ );

- 9) дисконтні продажі ( $a_9$ ).

Розглядають множину факторів, які впливають на взаємний обмін інформацією в ЛП [16]:

- вартість отримання інформації від інших учасників ЛП, у подальшому – *витрати* ( $f_1$ );

- точність і надійність джерела інформації, в подальшому – *надійність* ( $f_2$ );

– використання, роль інформації в різних процесах ЛП, таких як прогнозування, планування, виробництво товару та інші, можливість її включення в систему управління ЛП, у подальшому – *ступінь використання* ( $f_3$ );

– швидкість, з якою компанія може реагувати на отриману інформацію, в подальшому – *результативність* ( $f_4$ );

– здатність компанії ефективно використати інформацію для прогнозування і отримання максимального доходу, в подальшому – *прогнозна здатність* ( $f_5$ ).

Ці фактори в роботі називаються *критеріями рішень*.

Задача ППР – розрахувати величини відносної важливості або пріоритетності наведених вище типів інформації за вказаними критеріями рішень, використовуючи думки учасників ЛП.

Сформулюємо поставлену задачу у формальному вигляді. Побудуємо *ієрархічну модель* ППР у вигляді спрямованого графа  $S = \{V, L, E, РСМ\}$ , де  $V = \{C_0, C_1, C_2\}$  – множина вершин графа – кластери з елементами задачі, такими як критерії рішень  $f_1 - f_5$ , які утворюють кластер  $C_1$ , альтернативи рішень  $a_1 - a_9$ , які утворюють кластер  $C_2$ , а також головна ціль ( $C_0$ ).  $L$  – множина спрямованих ребер в ієрархії;  $E$  – множина оцінок елементів ієрархії, наданих у шкалі учасниками ЛП як експертами;  $РСМ$  – множина обернено симетричних матриць парних порівнянь (МПП) елементів ієрархії.

Необхідно: 1) оцінити якість експертної інформації; 2) знайти локальні ваги елементів кластерів  $C_1$  і  $C_2$  на основі оцінок експертів; 3) знайти агреговані за моделлю ваги альтернатив рішень, які будуть результуючими величинами відносної важливості або пріоритетності.

#### Алгоритм оцінювання важливості інформації в системі управління ланцюгом поставок

У [17, 18] розроблено системний підхід і методологію до ППР на основі ієрархічних і мережних моделей. На їх основі для розв'язання поставленої задачі пропонується алгоритм (рис. 1), у якому можна виділити три загальних етапи.

На першому етапі аналізується якість оцінок, отриманих від експерта і представлених МПП, із використанням методу оцінювання і підвищення узгодженості [19–21]. Його особливості: дослідження властивості слабкої узгодженості,

наявності циклів у МПП і пошук найбільш неузгодженого елемента цієї матриці. Метод може застосовуватися до різних видів МПП, зокрема мультиплікативних, адитивних, нечітких та інших. У результаті виконання першого етапу для всіх елементів моделі отримуємо МПП прийнятної якості, які можна використовувати на наступному етапі знаходження локальних пріоритетів або ваг елементів моделі.

На другому етапі розраховуються локальні ваги, а також довірчі інтервали для локальних ваг елементів моделі. В основі розробленого авторського методу [22] розрахунку цих довірчих інтервалів лежить ідея, що оцінки експерта лише деякою мірою відображають невідомі реальні відношення між вагами елементів моделі і містять невизначеність незалежно від рівня їх узгодженості.

На третьому етапі проводиться агрегування локальних ваг елементів моделі. Якщо критерії рішень незалежні, то використовуються дистрибутивний і мультиплікативний методи агрегування. За умови взаємної залежності критеріїв застосовується розроблений у [23] гібридний метод.

Детальніше розглянемо кожен із цих етапів.

#### Оцінювання якості експертної інформації.

Додатна, обернено симетрична МПП

$D_{n \times n} = \{d_{ij} \mid i, j = 1, \dots, n\}$ ,  $d_{ij} > 0$ ,  $d_{ji} = 1/d_{ij}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  називається *мультиплікативною*.

*Узгодженою* називається МПП

$$D_{n \times n} = \{d_{ij} \mid i, j = 1, \dots, n\},$$

елементи якої задовольняють умову  $d_{ij} = d_{ik} d_{kj}$   $\forall i, j, k = 1, \dots, n$  [24].

*Слабко* або *порядково узгодженою* називається МПП  $D_{n \times n}$ , елементи якої задовольняють умову порядкової транзитивності:

$$(d_{ij} > 1) \wedge (d_{jk} > 1) \Rightarrow (d_{ik} > 1),$$

$$(d_{ij} = 1) \wedge (d_{jk} > 1) \Rightarrow (d_{ik} > 1),$$

$$(d_{ki} > 1) \wedge (d_{ij} = 1) \Rightarrow (d_{kj} > 1),$$

$$(d_{ij} = 1) \wedge (d_{jk} = 1) \Rightarrow (d_{ik} = 1).$$

МПП  $D_{n \times n}$  називається *слабко неузгодженою*, або *нетранзитивною*, якщо існує трійка індексів  $(i, j, k)$ , на якій порушується порядкова транзитивність на множині порівнюваних об'єктів. Ця трійка  $(i, j, k)$  називається *циклом* у МПП.

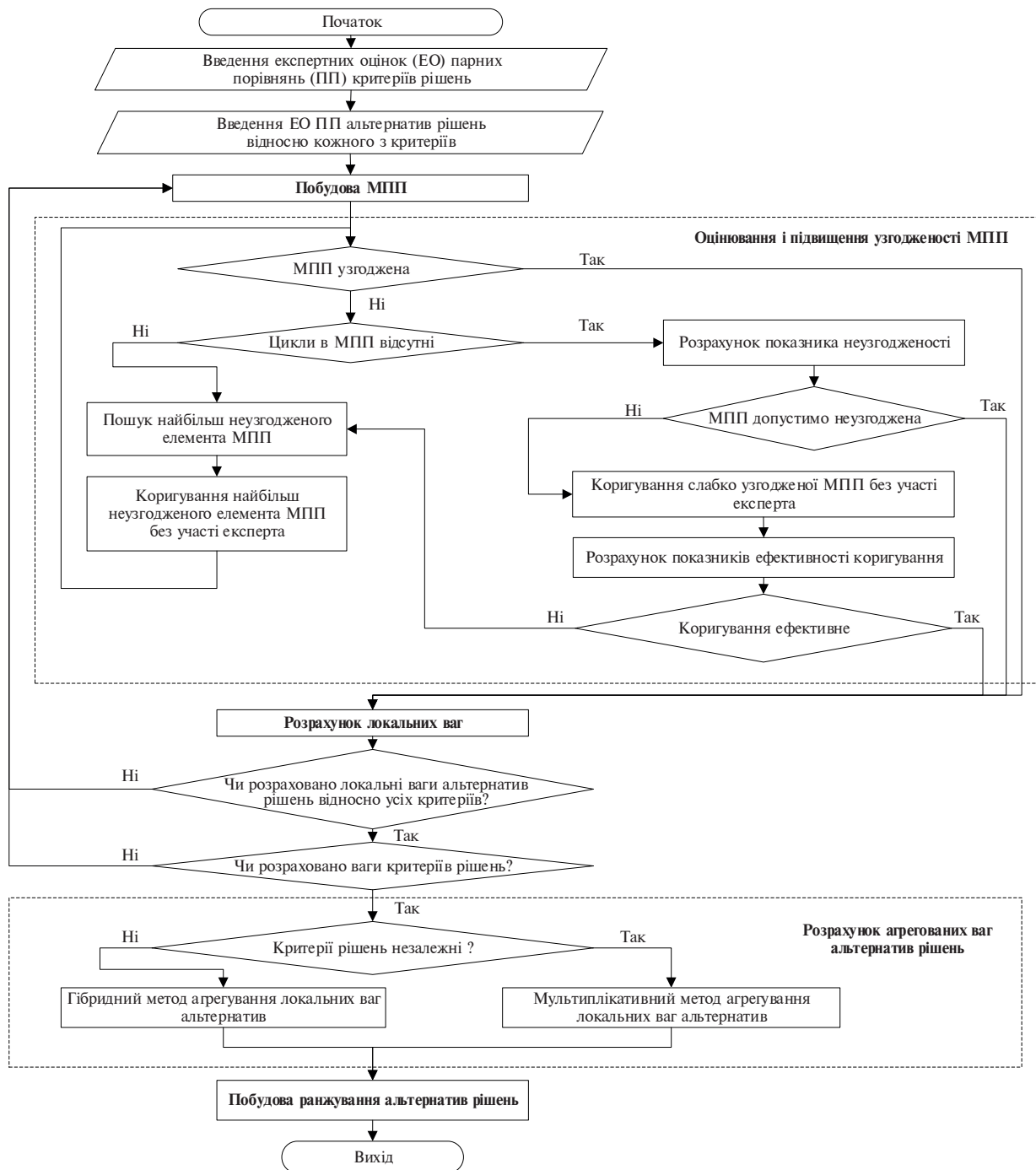


Рис. 1. Структурна схема алгоритму оцінювання важливості типів інформації (альтернатив рішень) у системі управління ланцюгом поставок

Сильно узгоджена МПП  $D_{n \times n}$  є також слабо узгодженою. Якщо  $D_{n \times n}$  – слабо неузгоджена МПП, то  $D_{n \times n}$  – сильно неузгоджена

Алгоритм на рис. 1 містить етап пошуку найбільш неузгодженого елемента МПП. Для цього використовується *метод Transitiv*:

1. Сформувані множини  $\Gamma = \{\Gamma_u\}$ , де  $\Gamma_u = \{d_{ij}, d_{jk}, d_{ik}\}$ ,  $u = 1, \dots, NT$  позначає транзитивність у МПП,  $i, j, k = 1, \dots, n$ ,  $i < j < k$ ,  $NT = \frac{n!}{(n-3)!3!}$ ,  $n \geq 3$ .

2. Для кожної  $\Gamma_u = \{d_{ij}, d_{jk}, d_{ik}\}$  побудувати

$$\text{матрицю } \begin{pmatrix} 1 & d_{ij} & d_{ik} \\ 1/d_{ij} & 1 & d_{jk} \\ 1/d_{ik} & 1/d_{jk} & 1 \end{pmatrix}, \text{ обчислити}$$

значення її визначника:

$$\det(\Gamma_u) = d_{ij}d_{jk}/d_{ik} + d_{ik}/(d_{ij}d_{jk}) - 2, \quad u = 1, \dots, NT.$$

3. Розрахувати  $S_{i,j} = \sum_{k=1}^n (d_{ij}d_{jk}/d_{ik} + d_{ik}/(d_{ij}d_{jk}) - 2)$

для кожної пари  $(i, j)$ .

4. Знайти найбільш неузгоджений елемент  $d_{i^*j^*}$  за умови  $(i^*, j^*)$ :  $\max_{i,j} S_{i,j}$ .

Якщо максимальне значення  $S_{i,j}$  досягається на декількох елементах  $d_{i^*j^*}$ , то серед них визначається елемент, на якому досягається максимальне значення такого виразу:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{n-2} \sum_{k=1}^n (\ln d_{i,j} - \ln(d_{i,k}d_{k,j})), \quad (1)$$

де  $k \neq i \neq j$ .

Цей елемент відповідає найбільшій неузгодженості всієї МПП.

Метод *MOutflow* пошуку найбільш неузгодженого елемента МПП складається з етапів [20]:

1. Розрахувати вхідний  $\Phi_i^-$  і вихідний  $\Phi_i^+$  потоки для альтернативи  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , де  $\Phi_i^+$  – це кількість  $a_j$  таких, що  $d_{ij} > 1$ .  $\Phi_i^-$  – це кількість альтернатив  $a_j$  таких, що  $d_{ji} > 1$ .

2. Знайти найбільш неузгоджений елемент  $d_{i^*j^*}$  МПП з умови

$$d_{i^*j^*} : \max_{i,j} (\max(\Phi_j^+ - \Phi_i^+, \Phi_i^- - \Phi_j^-)),$$

якщо  $i \neq j$ ,  $d_{ij} > 1$ .

Якщо максимальне значення досягається на декількох елементах  $d_{i^*j^*}$ , то серед них визначається елемент, на якому досягається максимальне значення виразу (1).

У випадку слабо узгодженої МПП та при використанні показника неузгодженості  $CR$  метод підвищення узгодженості МПП записується таким чином:

1. Задати значення параметра  $\alpha$ ,  $0 < \alpha < 1$ .

2. Обчислити показник неузгодженості  $CR$  МПП  $D$ . У циклі, поки  $CR > CR^{\text{порог}}$ :

2.1. Обчислити ваги  $w = (w_1, \dots, w_n)^T$  на основі МПП  $D$ .

2.2. Обчислити скориговану МПП

$$D^* = (d_{ij}^*):$$

мультиплікативний метод WMM:

$$d_{ij}^* = (d_{ij})^\alpha (w_i / w_j)^{1-\alpha};$$

адитивний метод WAM:

$$d_{ij}^* = \alpha d_{ij} + (1-\alpha) \frac{w_i}{w_j}, \text{ якщо } i \leq j,$$

$$d_{ij}^* = (\alpha d_{ji} + (1-\alpha) w_j / w_i)^{-1}, \text{ якщо } i > j.$$

2.3.  $D := D^*$ .

Для описаного алгоритму  $\lim_{k \rightarrow +\infty} CR^{(k)} = 0$ .

Більше значення параметра  $\alpha$  свідчить про менше відхилення скоригованої МПП від початкової. Тому більша кількість ітерацій алгоритму необхідна для досягнення допустимої неузгодженості МПП. На практиці використовуються значення  $0,5 \leq \alpha < 1$ .

**Розрахунок агрегованих за моделлю ваг альтернатив рішень.** У дистрибутивному методі агрегування локальних ваг  $w_{A_i}^{\text{aggr}} = \sum_{j=1}^M w_j^C r_{ij}$  та його модифікаціях може виникати явище реверсу рангів, яке небажане для низки практичних задач [17]. Завдяки моделюванню великої кількості тестових задач отримано, що мінімальна частота появи явища реверсу має місце в результаті використання мультиплікативного методу агрегування. Тому в запропонованому на рис. 1 алгоритмі для розрахунку агрегованої ваги альтернативи  $a_i$  використовується *мультиплікативний метод*:

$$w_i^{\text{aggr}} = \prod_{j=1}^M (v_{ij})^{w_j^C},$$

де  $v_{ij}$  – ненормована локальна вага альтернативи  $a_i$  за  $j$ -м критерієм,  $w_j^C$  – вага  $j$ -го критерію,  $\sum_{j=1}^M w_j^C = 1$ .

Моделювання показало, що невелика частота появи явища реверсу рангів має місце також для наступного *методу групового врахування бінарних відношень переваг альтернатив*. Цей метод полягає в тому, що задача багатокритеріального оцінювання множини альтернатив розбивається на підзадачі, в кожній з яких лише дві альтернативи оцінюються за початковою

множиною критеріїв. На основі  $N(N-1)/2$  підзадач розраховуються  $N(N-1)/2$  пар глобальних ваг альтернатив  $(w_{a_i}^{ik}, w_{a_k}^{ik})$ , де  $N$  – кількість альтернатив,  $w_{a_i}^{ik}$  – глобальна вага альтернативи  $a_i$  при одночасному розгляді тільки пари  $a_i$  та  $a_k$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $k = \overline{1, (N-1)/2}$ . Значення  $w_{a_i}^{ik}$  розраховується за модифікованим дистрибутивним методом:

$$w_{a_i}^{ik} = \sum_{j=1}^M w_j^C \cdot r_{ij}, \quad r_{pj} = \frac{v_{pj}}{\max(v_{ij}, v_{kj})}, \quad p \in \{i, k\}, \quad (2)$$

де  $v_{ij}$  – ненормована локальна вага альтернативи  $a_i$  за  $j$ -м критерієм.

Знайдені часткові розв'язки об'єднуються через побудову матриці  $P = (w_{a_i}^{ik} / w_{a_k}^{ik})$ ,  $i, k = \overline{1, N}$ , яка має властивості МПП. Ваги, розраховані на основі матриці  $P$  – результуючі агреговані ваги альтернатив.

Відмінність пропонованого методу полягає у запровадженні іншого правила нормування (2) замість відомого правила  $r_{pj} = \frac{v_{pj}}{v_{ij} + v_{kj}}$ . Саме

нормування до максимуму в (2) зменшує кількість випадків появи реверсу рангів.

### Розв'язання практичної задачі

Розглянемо застосування пропонованого на рис. 1 алгоритму до розв'язання поставленої практичної задачі оцінювання важливості інформації в системі управління ЛП. Вікно СППР із побудованою ієрархічною моделлю задачі зображено на рис. 2.

Експерт надає оцінки парних порівнянь, використовуючи шкалу Сааті (рис. 3, а зліва). Вхідними експертними оцінками в цьому прикладі є дані, наведені в [16]. Відповідна матриця парних порівнянь показана на рис. 3, б зліва. Справа на рис. 3, а, б розраховано значення локальних пріоритетів (коефіцієнтів відносної важливості або ваг). Оцінки на рис. 3, а, б не мають циклів, є допустимо узгодженими і, згідно з методом, можуть використовуватися для розрахунку ваг. На рис. 4, а показано випадок експертних оцінок неприйнятної якості: показник узгодженості дорівнює 0,305 і перевищує поріг допустимої узгодженості; також матриця парних порівнянь не є слабо узгодженою. В цьому випадку активно стає кнопка підвищення узгодженості матриці. Система без участі

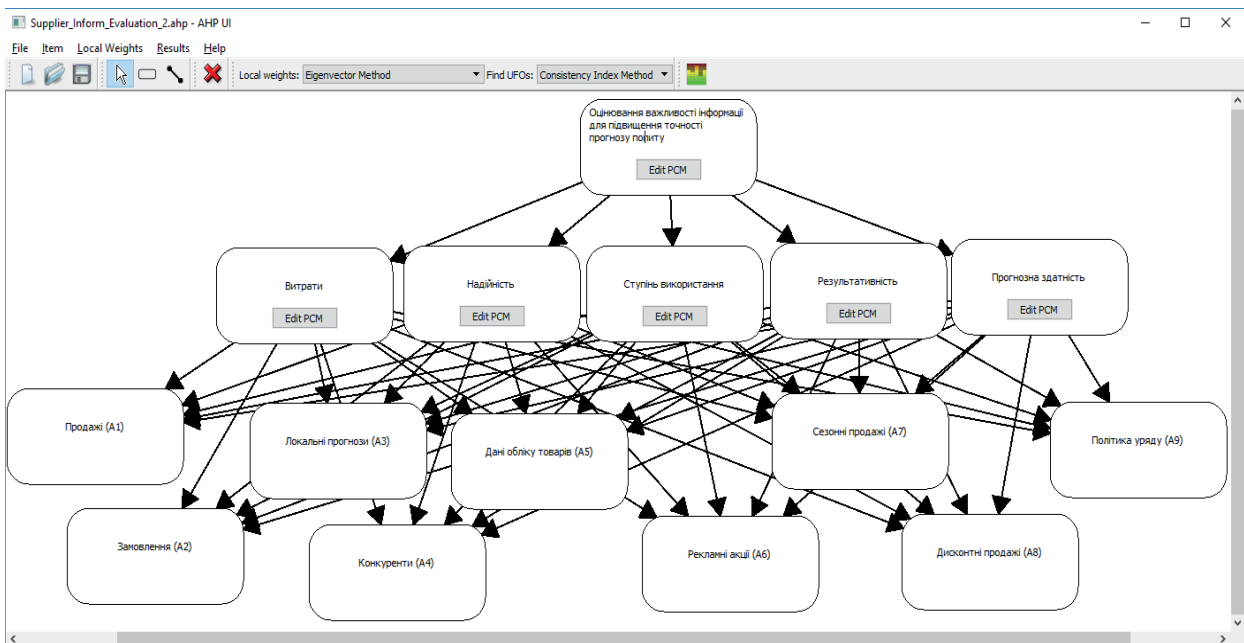


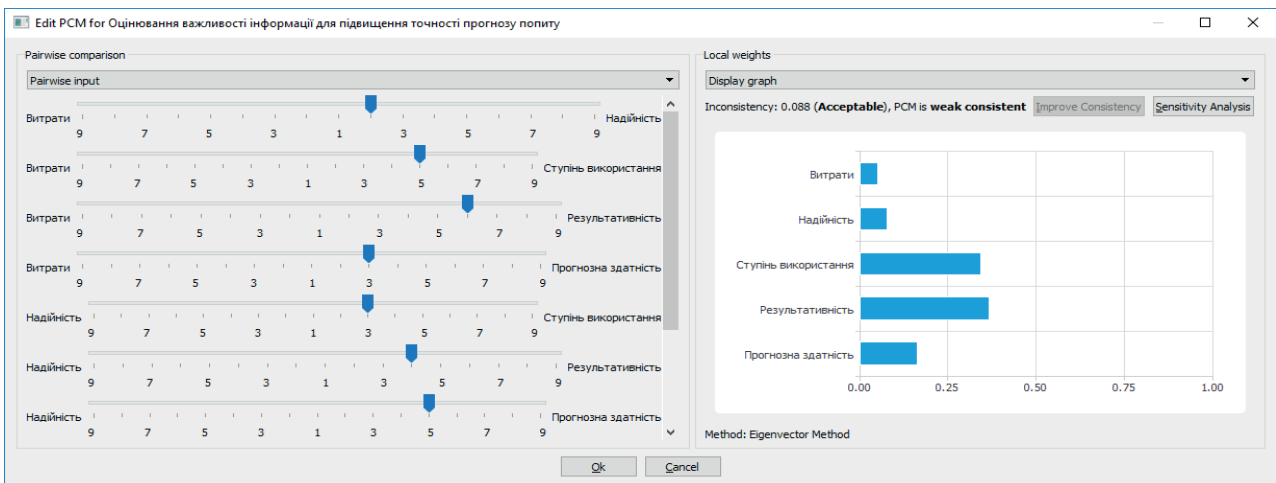
Рис. 2. Модель оцінювання важливості типів інформації в системі управління ланцюгом поставок

експерта знаходить найбільш неузгоджений елемент (позначений сірим кольором на рис. 4, а) і пропонує для нього нове значення (рис. 4, б), яке забезпечує підвищення узгодженості всієї множини оцінок.

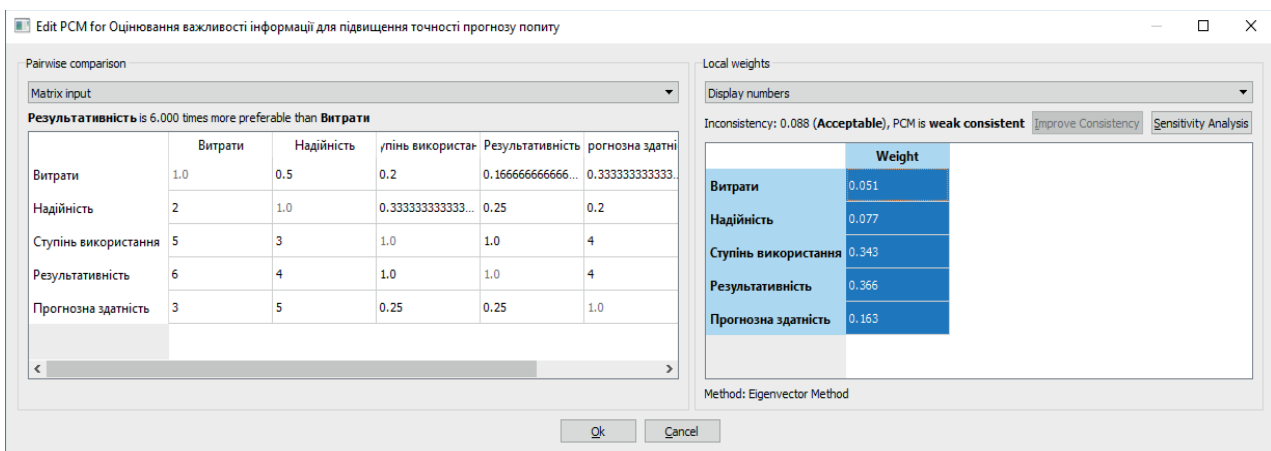
Застосування методу оцінювання і підвищення узгодженості МПП до всіх матриць побудованої моделі дало змогу без участі експерта отримати МПП прийнятної якості та розрахувати локальні ваги всіх елементів моделі.

У СППР реалізовано декілька методів розрахунку локальних ваг: головного власного вектора Eigenvector Method, геометричної середньої Row Geometric Mean Method, арифметичної нормалізації Arithmetic Normalization Method і авторський метод DSAHP Method. На рис. 5 і 3, б

показано результуючі ваги, обчислені цими методами на основі МПП з рис. 3, б. Порівняння результатів на рис. 5 свідчить про те, що різні методи привели до близьких локальних ваг і до однакового ранжування. Таким чином, різними методами отримано, що найбільш важливими факторами, які впливають на взаємний обмін інформацією в ЛП, є результативність цієї інформації та ступінь її використання. Менш важливий фактор – це прогнозна здатність інформації. На останніх місцях знаходяться фактори надійності інформації та витрат на її отримання. В цьому прикладі довірчі інтервали для ваг, розраховані методом DSAHP, містять точкові ваги за методами головного власного вектора та геометричної середньої.

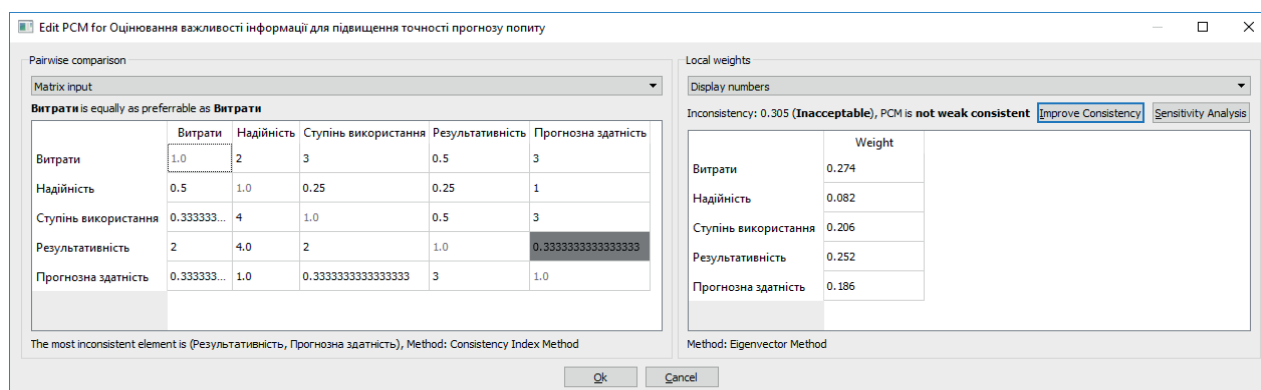


а

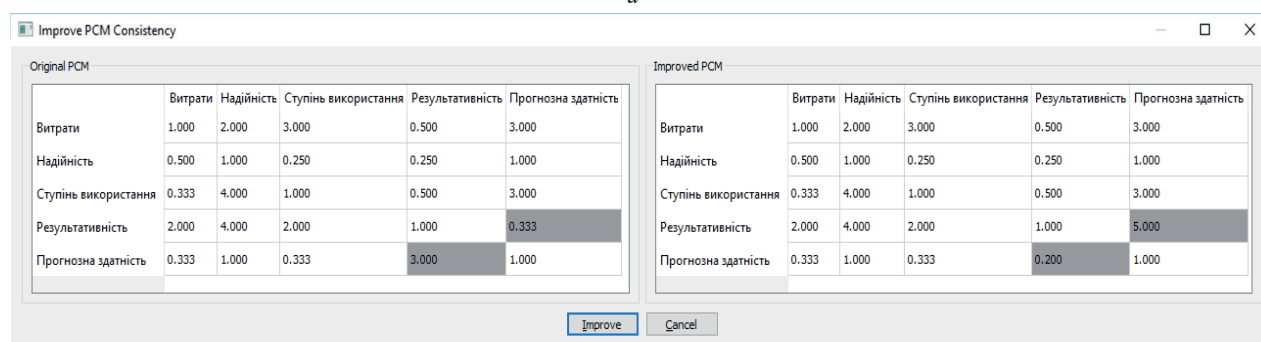


б

Рис. 3. Приклад експертного оцінювання елементів моделі в шкалі (а) та матриця парних порівнянь (зліва) і результуючі ваги (справа) елементів моделі (б)



а



б

Рис. 4. Приклад матриці парних порівнянь (МПП) з високим рівнем неузгодженості (а) та приклад коригування найбільш неузгодженого елемента МПП без участі експерта (б)

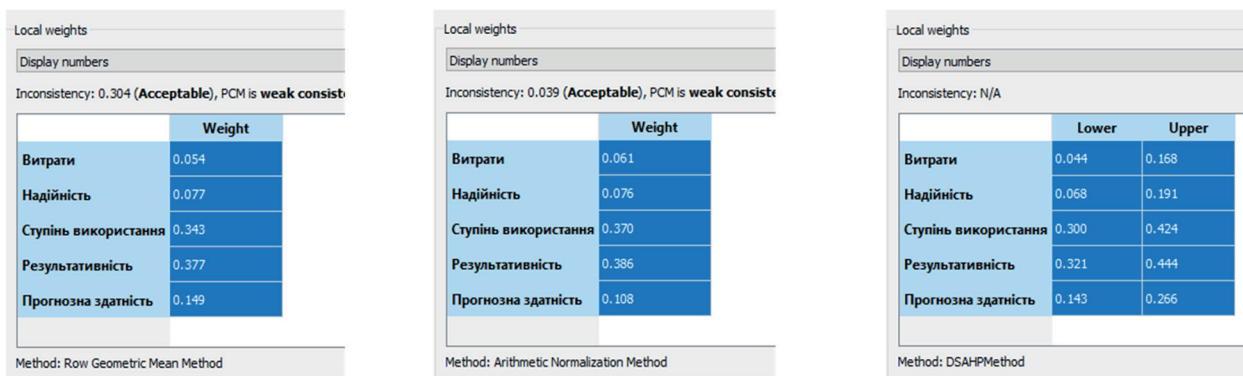


Рис. 5. Локальні ваги критеріїв рішень, отримані різними методами

На основі експертних оцінок парних порівнянь також було розраховано локальні ваги типів інформації за критеріями рішень (рис. 6). У випадку високого рівня неузгодженості МПП виконувалося її коригування за пропонованим вище методом.

Для розрахунку агрегованих ваг елементів моделі використано мультиплікативний метод (рис. 7). Отримано, що найбільш важливою для підвищення точності прогнозу споживчого

попиту в цьому прикладі є інформація з рекламних акцій (значення пріоритету дорівнює 0,262). На 2, 3 і 4-му місяцях відповідно знаходяться дані про товари конкурентів (0,188), замовлення (0,150) та локальні прогнози, які надаються споживачами (0,110). Інформація про політику уряду (0,070), продажі (0,063), дані обліку товарів (0,056), сезонні (0,055) та дисконтні (0,047) продажі виявилася найменш важливою.



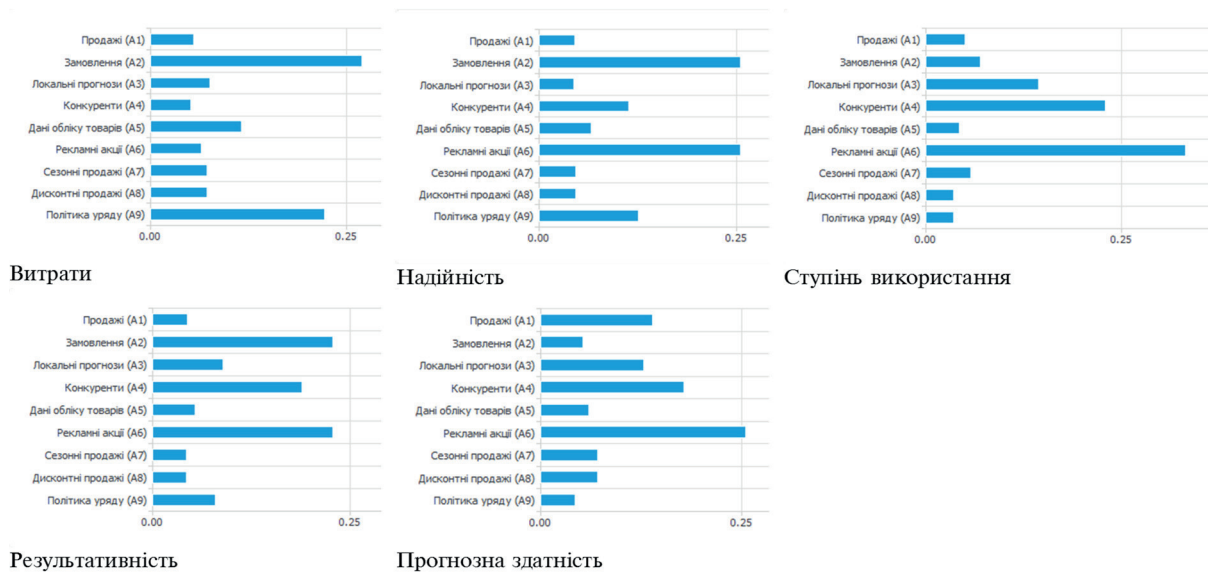


Рис. 6. Локальні ваги типів інформації за критеріями рішень

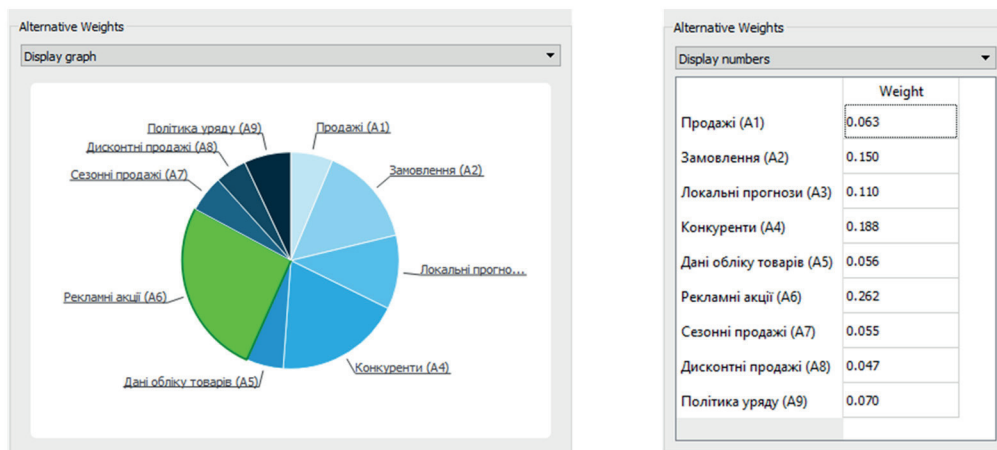


Рис. 7. Агреговані ваги типів інформації в системі управління ланцюгом поставок

**Висновки**

У роботі запропоновано алгоритм аналізу системи управління ЛП на основі ієрархічної моделі ППР. Показано функціональні можливості розробленої системи ППР для розв’язання багатокритеріальних задач, коли вхідною інформацією слугують оцінки суб’єктів ЛП. У роботі використано експертні оцінки, наведені в [16]. Результати розв’язання практичної задачі запропонованим алгоритмом узгоджуються з результатами, отриманими в [16] класичним методом. Серед переваг цього алгоритму – те, що він використовується для більш широкого класу задач ППР, зокрема коли частина експертних оцінок

недостатньо узгоджена. В цьому випадку алгоритм без участі експерта знаходить найбільш не узгоджені його оцінки і коригує множину оцінок різними методами залежно від властивостей відповідних матриць парних порівнянь. Пропонований алгоритм включає декілька методів розрахунку локальних ваг елементів моделі та різні методи агрегування цих ваг, що підвищує достовірність отриманих результатів.

Перспективою подальших досліджень бачиться розширення цього алгоритму через включення засобів теорії нечітких множин для більш адекватної обробки експертних оцінок, а також методів аналізу чутливості отриманих результатів.

## References

- [1] D.Dg. Bauersoks and D.Dg. Kloss, *Logistics. Integrated Supplier Chain*. Moscow, Russia: OLIMP-BISNES, 2008.
- [2] D.A. Ivanov, *Management of Supplier Chains*. SPtb, Russia: Polytechnic University Publ., 2009.
- [3] V.V. Dibskaya *et al.*, *Logistics*. Moscow, Russia: Eksmo, 2008, 944 p.
- [4] Dg. Gattorna, *Management of Supplier Chains*. Moscow, Russia: INFRA-M, 2008.
- [5] O.V. Masnikova, *Distributive Logistics*. Minsk, Belarus: Vishejschaya Shkola, 2016.
- [6] Badea *et al.*, “Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP)”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 124, pp. 114–123, 2014. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.02.467
- [7] V.P.K. Sundram *et al.*, “Supply chain practices and performance: the indirect effects of supply chain integration”, *Benchmarking*, vol. 23, no. 6, pp. 1445–1471, 2016. doi: 10.1108/BIJ-03-2015-0023
- [8] H. Zhou *et al.*, “Supply chain practice and information quality: a supply chain strategy study”, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 147, pp. 624–633, 2014. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.08.025
- [9] F.R. Lima-Junior and L.C.R. Carpinetti, “Quantitative models for supply chain performance evaluation: A literature review”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 113, pp. 333–346, 2017. doi: 10.1016/j.cie.2017.09.022
- [10] C.A. Rodríguez-Enríquez *et al.*, “Supply chain knowledge management supported by a simple knowledge organization system”, *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 19, pp. 1–18, 2016. doi: 10.1016/j.elerap.2016.06.004
- [11] S. Hosseini *et al.*, “Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 125, pp. 285–307, 2019. doi: 10.1016/j.tre.2019.03.001
- [12] S. Raghunathan, “Information sharing in a supply chain: a note on its value when demand is non stationary”, *Manag. Sci.*, vol. 47, no. 4, pp. 605–610, 2001. doi: 10.1016/j.ejor.2016.11.046
- [13] Sukati *et al.*, “The study of supply chain management strategy and practices on supply chain performance”, *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol. 40, pp. 225–233, 2012. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.185
- [14] Qorri *et al.*, “A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains”, *J. Cleaner Production*, vol. 189, pp. 570–584, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.073
- [15] A.R.M. Mokhtar *et al.*, “Supply chain leadership: A systematic literature review and a research agenda”, *Int. J. Production Economics*, vol. 216, pp. 255–273, 2019. doi: 10.1016/j.ijpe.2019.04.001
- [16] U. Ramanathan, “Aligning supply chain collaboration using Analytic Hierarchy Process”, *Omega*, vol. 41, pp. 431–440, 2013. doi: 10.1016/j.omega.2012.03.001
- [17] N.I. Nedashkovskaya, “Methodology and decision support system on basis of hierarchical and network decision models”, D.Sc. thesis, Kyiv, 2018.
- [18] N.I. Nedashkovskaya, “A system approach to decision making support on basis of hierarchical and network models”, *Syst. Res. Inform. Technol.*, no. 1, pp. 7–18, 2018. doi: 10.20535/SRIT.2308-8893.2018.1.01
- [19] N.I. Nedashkovskaya, “Method of consistent pairwise comparisons while estimating decision alternatives in terms of qualitative criterion”, *Syst. Res. Inform. Technol.*, no. 4, pp. 67–79, 2013.
- [20] N. Nedashkovskaya, “Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix”, *J. Operational Res. Soc.*, vol. 69, no. 12, pp. 1947–1956, 2018. doi: 10.1080/01605682.2017.1415640
- [21] N.D. Pankratova and N.I. Nedashkovskaya, “Methods of evaluation and improvement of consistency of expert pairwise comparison judgements”, *Inform. Theor. Appl.*, vol. 22, no. 3, pp. 203–223, 2015.
- [22] N.I. Nedashkovskaya, “Method for evaluation of the uncertainty of the paired comparisons expert judgements when calculating the decision alternatives weights”, *J. Automation Inform. Sci.*, vol. 47, no. 10, pp. 69–82, 2015. doi: 10.1615/JAutomatInfScien.v47.i10.70
- [23] N.D. Pankratova and N.I. Nedashkovskaya, “Hybrid method of multicriteria evaluation of decision alternatives”, *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 50, no. 5, pp. 701–711, 2014. doi: 10.1007/s10559-014-9660-2
- [24] T.L. Saaty, *Decision Making under Dependences and Feedbacks: Analytical Networks*. Moscow, Russia: LIBROKOM, 2009.

Н.И. Недашковская

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Проблематика.** Информация – один из ключевых элементов для эффективного управления цепью поставок (ЦП). Наличие своевременной информации обеспечивает непрерывное перемещение товарных потоков, минимизирует убытки компании, связанные с отсутствием товаров или превышением складских запасов, позволяет планировать производство продукции и финансовые потоки, учитывать изменение интересов потребителей. Используются системы обмена информацией между участниками ЦП. Прогнозирование будущих продаж необходимо для контроля потока товаров, поэтому фирмы выполняют прогнозирование потребительского спроса.

**Цель исследования.** Поскольку существующая информация имеет разную полезность для целей прогнозирования и принятия решений для различных участников ЦП, возникает задача оценки приоритетности различных типов информации в системе управления ЦП для получения более точного прогноза потребительского спроса. Цель работы – разработка алгоритма расчета величин относительной важности или приоритетности различных типов информации в ЦП на основе иерархической модели критериев с использованием мнения участников ЦП.

**Методика реализации.** Задача системного оценивания приоритетности информационной потребности в системе управления ЦП сформулирована как задача многокритериальной поддержки принятия решений (ППР). Выделены несколько типов информации, которая может быть использована для прогнозирования потребительского спроса; это альтернативы решений. Построена иерархическая модель ППР, которая включает критерии стоимости получения информации от других участников ЦП, точности и надежности источника информации, степени ее использования, а также другие критерии, влияющие на эффективность использования информации для прогнозирования спроса.

**Результаты исследования.** Предложен алгоритм анализа системы управления ЦП на основе иерархической модели ППР. Показаны функциональные возможности разработанной системы ППР для решения многокритериальных задач ППР, когда входной информацией служат оценки субъектов ЦП.

**Выводы.** Разработанный алгоритм используется для более широкого класса задач ППР, в частности когда часть экспертных оценок недостаточно согласована. В этом случае без участия эксперта ищутся наиболее несогласованные его оценки, множество экспертных оценок корректируется различными методами в зависимости от свойств соответствующих матриц парных сравнений. Предлагаемый алгоритм включает несколько методов расчета локальных весов элементов иерархической модели ППР и различные методы агрегирования этих весов, повышает достоверность полученных результатов.

**Ключевые слова:** управление цепями поставок; иерархическая модель; многокритериальный анализ; поддержка принятия решений; экспертные оценки; матрица парных сравнений; согласованность.

N.I. Nedashkovskaya

#### SUPPLY CHAIN MANAGEMENT BASED ON HIERARCHICAL DECISION SUPPORT MODEL

**Background.** Information is one of the key elements for effective supply chain (SC) management. Availability of timely information ensures the continuous movement of commodity flows, minimizes the company's losses associated with the lack of goods or excess stocks, allows you to plan production and financial flows, take into account changes in consumer interests. The systems of information exchange between the participants of the SC are used. Predicting future sales is necessary to control the flow of goods, so firms do consumer demand forecasting.

**Objective.** Since the explicit information has different usefulness for forecasting and decision-making for different SC participants, the problem arises of assessing the priority of various types of information in the SC management system in order to obtain a more accurate forecast of consumer demand. The aim of the work is to develop an algorithm for calculating the values of the relative importance or priority of various types of information in the SC based on a hierarchical model of criteria using the opinions of the SC participants.

**Methods.** The task of systemic assessment of the priority of information needs in the SC management system is formulated as a task of multi-criteria decision support. There are several types of information that can be used to predict consumer demand, these are alternative solutions. A hierarchical model of SC has been built, which includes criteria for the cost of obtaining information from other participants of the SC, accuracy and reliability of the source of information, degree of its use and other criteria affecting the efficiency of using information for forecasting demand.

**Results.** An algorithm for analyzing the SC management system based on a decision support hierarchical model is proposed. The functional capabilities of the developed decision support system for solving multiple criteria decision support problems are shown, when the input information are evaluations of the SC subjects.

**Conclusions.** The developed algorithm is used for a wider class of decision support problems, in particular when part of the expert assessments is not sufficiently consistent. In this case, the most inconsistent assessments are searched without the participation of an expert, the set of expert evaluations is adjusted by various methods depending on the properties of the corresponding pairwise comparison matrices. The proposed algorithm includes several methods for calculating the local weights of the elements of decision support hierarchical model and various methods of aggregating these weights, which increase the reliability of the obtained results.

**Keywords:** supply chain management; hierarchical model; multiple criteria analysis; decision support; expert assessments; pairwise comparison matrix; consistency.

Рекомендована Радою Інституту  
прикладного системного аналізу  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції  
16 липня 2019 року

Прийнята до публікації  
05 вересня 2019 року