

О. Є. ФЕДОРОВИЧ, Ю. Л. ПРОНЧАКОВ, К. О. РИБКА, Ю. О. ЛЕЩЕНКО

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ВИБІР ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ДОВГИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ВАНТАЖІВ

Ставиться та вирішується науково-прикладна задача вибору постачальників комплектуючих, матеріалів та сировини (КМС) для виробництва високотехнологічної продукції (авіабудування, суднобудування тощо) зі складною компонентною багаторівневою архітектурою виробу. Велику увагу приділено дослідженню довгих логістичних ланцюгів постачання КМС з урахуванням різномірної транспортної мережі (авіаційного, залізничного, автомобільного та іншого транспорту) з переходами вантажів з однієї магістралі на іншу. Актуальність теми публікації пов'язана з дослідженням впливу віддаленості постачальників та різномірності транспортної мережі на строки, витрати та ризики доставки КМС у виробництво високотехнологічної продукції, з урахуванням довгих логістичних ланцюгів, які забезпечують взаємодію постачальника та виробника. Метою дослідження є вирішення задачі раціонального вибору постачальників з урахуванням логістики поставки КМС у різномірному транспортному середовищі. Через складності задачі, яка вирішується, вона має комплексний характер та включає наступні етапи дослідження: вибір постачальників, з урахуванням компонентної архітектури складного виробу; формування логістичного ланцюга доставки КМС; дослідження впливу перевалок вантажів у різномірному транспортному середовищі. Рішення першої задачі носить комбінаторний характер та зводиться до цілеспрямованого перебору множини можливих постачальників. Рішення другої задачі пов'язана з вибором оптимальних логістичних ланцюгів доставки КМС від постачальника до виробників. Рішення третьої задачі засновано на моделюванні руху вантажів з урахуванням перевалок та можливих ризиків. Використані математичні методи: системний аналіз для представлення компонентної архітектури складного виробу; цілочисельне (булеве) програмування для оптимізації основних логістичних показників; агентне імітаційне моделювання для дослідження логістичних ланцюгів доставки вантажів з перевалками та можливими ризиками (кліматичні, пандемічні, терористичні тощо).

Ключові слова: розподілене виробництво; постачальники комплектуючих; логістичний ланцюг поставок; перевалки; ризики постачання; оптимізація; агентне моделювання.

Вступ

Глобалізація економіки привела до різкого зростання інтенсивності потоків комплектуючих, матеріалів та сировини (КМС) для виробництва високотехнологічної продукції (авіабудування, суднобудування, автомобілебудування тощо) [1, 2]. У теперішній час, постачальники знаходяться на великій відстані від виробників, що ускладнює організацію, планування та управління довгими, іноді заплутаними, логістичними ланцюгами поставок [3]. Аналіз показав, що довгі логістичні ланцюги поставок мають наступні особливості, які ускладнюють доставку КМС виробникам високотехнологічної продукції [4, 5]:

- мультимодальні логістичні ланцюги транспортування, які включають використання різномірних транспортних мереж для перевезень вантажів з перевалками з однієї транспортної системи на іншу;

- використання розподільних центрів дистрибуції для організації транспортних потоків;

- часте проміжне зберігання вантажів та вимушене очікування для продовження руху;

- перетинання державних границь та очікування оформлення документів;

- рух вантажів у різних кліматичних зонах;

- виконання вимог щодо габаритів, ваги та інших характеристик вантажів для різних транспортних систем та магістралей;

- поява різноманітних ризиків, пов'язаних з перевезенням (маральне та фізичне старіння транспортних систем і засобів, кліматичні та пандемічні ризики, критичні ділянки, пов'язані з можливими збоями та надзвичайними ситуаціями, терористичні акти, вандалізм тощо);

- виникнення вузьких місць та затримок у логістичних ланцюгах через збільшення інтенсивності транспортних потоків та виникаючих при цьому черг.

Тому, для вибору постачальників КМС для виробництва високотехнологічної продукції з великою кількістю складових компонентів, необхідно

обов'язково враховувати логістичні взаємодії постачальник – виробник [6]. Звідси витікає актуальність теми запропонованої публікації, в якій вибір постачальників КМС, пов'язаний з логістичними ланцюгами доставки вантажів до виробників високотехнологічної продукції.

Постановка задачі дослідження

Через складності поставленої задачі, вибір постачальників для постачання КМС у виробництво високотехнологічної продукції, вимагає рішення комплексної задачі, яка включає наступні складові:

1. Обґрунтування та вибір віддалених постачальників КМС для виробництва високотехнологічної продукції.
2. Формування логістичного ланцюга доставки КМС у різномірній транспортній системі.
3. Дослідження впливу перевалок вантажів та ризиків на планові строки доставки КМС від постачальника до виробника.

Рішення задачі дослідження

Рішення першої задачі, пов'язане з обґрунтованим вибором постачальників, носить комбінаторний характер та зводиться до цілеспрямованого перебору потенціальних постачальників КМС для кожної j -ої компоненти виробу, у відповідності з компонентною архітектурою складного виробу [7, 8]. При цьому необхідно враховувати значення наступних показників, пов'язаних як з виробництвом, так і логістикою доставки КМС від постачальника до виробника:

- витрати, пов'язані з виробництвом КМС для кожної j -ої компоненти (W_{1j}) виробу;
- витрати, пов'язані з логістикою доставки КМС (приблизна оцінка експертів транспортної логістики) (W_{2j});
- час, витрачений на виготовлення КМС для j -ої компоненти виробу (T_{1j});
- час, витрачений на доставку КМС для j -ої компоненти виробу (T_{2j});
- ризики, пов'язані з виконанням замовлення щодо виробництва КМС для j -ої компоненти виробу (R_{1j});
- ризики, пов'язані з доставкою КМС для j -ої компоненти складного виробу (R_{2j}).

Сучасне представлення архітектури складного високотехнологічного виробу, пов'язане з багаторівневою компонентною структурою. Для кожної створюваної j -ої компоненти i -го рівня архітектури виробу необхідно відібрати e -го постачальника КМС з множини M_{ij} можливих постачальників. Комбінаторний вибір постачальників для j -ої ком-

поненти i -го рівня архітектури виробу, пов'язаний зі значенням цілочисельної (булевої) змінної x_{ije} , де $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, m_i}$, $e = \overline{1, m_j}$:

$$x_{ije} = \begin{cases} 1, & \text{якщо для } j\text{-ї компоненти} \\ & i\text{-го рівня архітектури виробу} \\ & \text{обрано } e\text{-го постачальника,} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

У термінах цілочисельного (булевого) лінійного програмування, основні показники, для обґрунтування та вибору постачальників КМС, з урахуванням багаторівневої компонентної архітектури виробу, будуть мати наступний вигляд для i -го рівня архітектури:

$$\begin{aligned} W_i &= \sum_{j=1}^{m_i} W_{1j} + \sum_{j=1}^{m_i} W_{2j} = \\ &= \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} w_{1ije} x_{ije} + \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} w_{2ije} x_{ije}, \\ T_i &= \sum_{j=1}^{m_i} T_{1j} + \sum_{j=1}^{m_i} T_{2j} = \\ &= \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} t_{1ije} x_{ije} + \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} t_{2ije} x_{ije}, \\ R_i &= \sum_{j=1}^{m_i} R_{1j} + \sum_{j=1}^{m_i} R_{2j} = \\ &= \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} r_{1ije} x_{ije} + \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{e=1}^{m_j} r_{2ije} x_{ije}, \end{aligned}$$

де $\sum_{e=1}^{m_j} x_{ije} = 1$, що значить обов'язковий вибір e -го

постачальника КМС для j -ої компоненти i -го рівня виробу;

W_i – загальні витрати, пов'язані з виробництвом КМС j -х компонент i -го рівня виробу та логістичними витратами, пов'язаними з доставкою КМС від постачальників до виробників j -х компонент i -го рівня виробу;

T_i – час, витрачений на виробництво КМС для j -х компонентів i -го рівня виробу та часом, пов'язаним з доставкою КМС для виробників j -х компонентів i -го рівня від постачальників до виробників виробу;

R_i – ризики, пов'язані з виробництвом КМС для j -х компонентів i -го рівня виробу та логістичними ризиками, пов'язаними з доставкою КМС для

виробництва j -х компонентів i -го рівня виробу від постачальників до виробників;

w_{1ije} – витрати, пов'язані з виробництвом КМС

e -м постачальником для j -ої компоненти i -го рівня виробу;

w_{2ije} – логістичні витрати, пов'язані з доставкою від e -го постачальника КМС до виробництва j -ої компоненти i -го рівня виробу;

t_{1ije} – час, витрачений e -м постачальником на виробництво КМС для j -ої компоненти i -го рівня виробу;

t_{2ije} – час, пов'язаний з доставкою КМС від e -го постачальника до виробника j -ої компоненти i -го рівня виробу;

r_{1ije} – ризик, пов'язані з виробництвом КМС для j -ої компоненти i -го рівня виробу e -м постачальником;

r_{2ije} – логістичні ризики, пов'язані з доставкою КМС від e -го постачальника до виробника j -ої компоненти i -го рівня виробу.

З урахуванням всіх рівнів деталізації компонентної архітектури складного виробу, запропоновані показники будуть мати наступний вигляд:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} w_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} w_{2ije} X_{ije},$$

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} t_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} t_{2ije} X_{ije},$$

$$R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} r_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} r_{2ije} X_{ije}.$$

Задачу обґрунтування та вибору постачальників КМС, з використанням сформульованих показників, можна вирішити шляхом мінімізації окремих показників з урахуванням виконання обмежень на допустимі значення інших. Необхідно знайти:

$$\min W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} w_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} w_{2ije} X_{ije},$$

при цьому: $T \leq T', R \leq R'$,

де T', R' – допустимі значення показників T, R .

$$\min T, T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} t_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} t_{2ije} X_{ije},$$

при цьому: $W \leq W', R \leq R'$,

де W' – допустиме значення показника W .

$$\min R, R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} r_{1ije} X_{ije} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{m_j} r_{2ije} X_{ije},$$

при цьому $T \leq T', W \leq W'$.

В результаті локальної оптимізації окремих показників, отримаємо мінімальні значення за кожним показником W^*, T^*, R^* .

Для пошуку компромісного рішення, необхідно скористатися мінімізацією комплексного показника K , наведеною у вигляді зваженої адитивної згортки:

$$K = \alpha_W \cdot W + \alpha_T \cdot T + \alpha_R \cdot R,$$

де $\alpha_W, \alpha_T, \alpha_R$, – ваги (значимості) показників W, T, R , $\alpha_W + \alpha_T + \alpha_R = 1$,

$$W = \frac{W - W^*}{W' - W^*}, T = \frac{T - T^*}{T' - T^*}, R = \frac{R - R^*}{R' - R^*}.$$

Необхідно знайти $\min K$, з урахуванням виконання обмежень $W \leq W', T \leq T', R \leq R'$.

Рішення другої задачі, пов'язаної з формуванням логістичного ланцюга доставки вантажів, зводиться до цілеспрямованого перебору можливих маршрутів від постачальника до виробника високотехнологічної продукції. Нехай, за допомогою експертів транспортної логістики, визначена множина L_{ij} маршрутів руху вантажів у різномірній транспортній системі (РТС) для кожної j -ої компоненти i -го рівня деталізації архітектури виробу. Представимо РТС у вигляді графу G , де вершини представляють транспортні вузли, а ребра – магістральні ділянки РТС. Тоді, k -й транспортний маршрут представляє собою послідовність чергування вузлів та ребер графу G та відповідає руху вантажу, у вигляді КМС, від постачальника до виробника, для кожної j -ої компоненти виробу. Тоді, шляхом введення цілочисельної (булевої) змінної x_{ijk} , можна представити вибір k -го маршруту з множини можливих L_{ij} :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо для } j\text{-ї компоненти} \\ & i\text{-го рівня архітектури виробу} \\ & \text{обрано } k\text{-й маршрут,} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

В якості основних показників, для вибору маршрутів, будемо використовувати T_L – час, пов'язаний з рухом вантажів у вигляді КМС, W_L – логісти-

чні витрати, пов'язані з рухом вантажів, R_L – ризики, пов'язані з рухом вантажів. Ризики виникають через появу можливих загроз та прояви, при цьому, вразливостей (поганий стан магістралей, вузькі місця на ділянках магістралі тощо).

Тоді, з урахуванням вибору k -го маршруту для постачання виробництва j -ої компоненти складного виробу, основні показники будуть мати наступний вигляд:

$$T_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} t_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

$$W_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} w_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

$$R_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} r_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

де n_j – кількість можливих маршрутів руху вантажу у вигляді КМС, від постачальника до виробника для j -компоненти виробу, що виготовляється;

l_i – кількість компонент i -го рівня виробу;

$t_{L_{ijk}}, w_{L_{ijk}}, r_{L_{ijk}}$ – час, витрати та ризики, пов'язані з вибором маршрутів руху КМС для j -ої компоненти виробу.

Як і у попередній задачі, можлива оптимізація окремих показників, так і компромісне рішення для вибору маршрутів руху. Необхідно:

$$\min T_L, T_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} t_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

з урахуванням виконання обмежень:
 $W_L \leq W'_L, R_L \leq R'_L,$

$$\min W_L, W_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} w_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

з урахуванням $T_L \leq T'_L, R_L \leq R'_L,$

$$\min R_L, R_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \sum_{k=1}^{n_j} r_{L_{ijk}} x_{ijk},$$

з урахуванням $T_L \leq T'_L, W_L \leq W'_L,$

де T'_L, W'_L, R'_L – допустимі значення показників T_L, W_L, R_L .

Для рішення багатокритеріальної задачі, необхідно мінімізувати комплексний показник Q :

$$\min Q, Q = \alpha_{T_L} \cdot T_L + \alpha_{W_L} \cdot W_L + \alpha_{R_L} \cdot R_L,$$

з урахуванням $\alpha_{T_L} + \alpha_{W_L} + \alpha_{R_L} = 1,$

$$\text{де } T_L = \frac{T_L - T_L^*}{T'_L - T_L^*}, W_L = \frac{W_L - W_L^*}{W'_L - W_L^*}, R_L = \frac{R_L - R_L^*}{R'_L - R_L^*},$$

де T_L^*, W_L^*, R_L^* – мінімальні значення показників T_L, W_L, R_L , знайдені при їх мінімізації.

Для рішення третьої задачі, пов'язаної з дослідженням впливу перевалок та ризиків на строки доставки вантажів, скористаємося методом імітаційного подійного моделювання [9]. Переходи (перевалки) призводять до додаткових витрат та втрат часу на проміжне зберігання вантажів та перевантаження з однієї транспортної магістралі на іншу. Для обліку впливу цих факторів, було розроблено алгоритм агентного моделювання руху вантажів, з урахуванням перевалок. Основні кроки алгоритму, з урахуванням використаних агентів у вигляді розроблених модулів імітаційного подійного моделювання, можна представити наступним чином:

1. Задається різномірда транспортна мережа (ТМ) за допомогою агента «транспортна мережа». Вказуються вершини графу G транспортної мережі, які пов'язані з перевалкою вантажів та які поєднуються, за допомогою ребер графу G .

2. За допомогою агента «постачальник», імітується поява заявки (вантаж) у різномірній ТМ для доставки вантажів від постачальника до виробника складного виробу.

3. Імітується затримка, пов'язана з рухом вантажу на конкретному відрізку транспортної магістралі до вузлу, пов'язаного з перевалкою вантажів, за допомогою агента «затримка на ТМ».

4. Імітується затримка, пов'язана з виникненням можливих черг на транспортних вузлах перевалки вантажів, за допомогою агента «черга».

5. Імітується затримка, пов'язана з перевалкою та проміжним зберіганням вантажів в транспортному вузлу, пов'язаного з перевалкою вантажів, за допомогою агента «перевалка».

6. Імітується випадкові фактори, пов'язані з можливими ризиками руху вантажів, які залежать від загроз та вразливостей, за допомогою агентів «загрози ТМ», «загрози перевалок», які призводять до часових зупинок вантажів, які імітуються за допомогою агента «зупинка через загрози».

7. Імітується прихід заявки вантажу до виробника за допомогою агенту «виробник».

8. За допомогою агенту «результати» видаються наступні результати моделювання:

- час приходу вантажу від постачальника до виробника;

- сумарний час знаходження вантажів у вузлах різномірної ТМ, пов'язаних з перевалками;

- транспортні вузли з найбільшими затримками, які пов'язані з перевалкою вантажів;

- транспортні вузли з найбільшими чергами заявок (вантажів);

- сумарна втрата часу від прояви можливих загроз та вразливостей.

9. За допомогою агенту «монітор» здійснюється управління ходом моделювання (планування наступу подій, ініціювання агентів, управління системним часом моделювання).

За допомогою агенту генератора «постачальник» змінюється інтенсивність появи вантажів від постачальників, та оцінюється вплив інтенсивності на результати моделювання.

За допомогою агентів «загрози ТМ», «загрози перевалок», а також агенту «зупинка через загрози» генеруються виникнення загроз, зупинок вантажів та оцінюється їх вплив на результати моделювання.

На рис. 1 представлена структурна схема агентної імітаційної моделі.

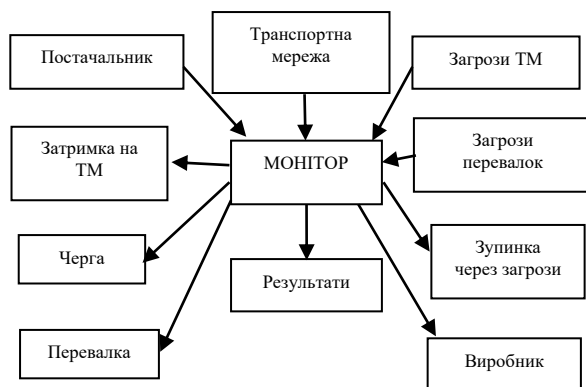


Рис. 1. Структурна схема агентної імітаційної моделі

Висновки

У роботі проведено дослідження логістичних взаємодій постачальник – виробник у розподіленій виробничій системі. Велику увагу приділено дослідженню довгих логістичних ланцюгів доставки комплектуючих, матеріалів та сировини (КМС) у виробничу систему. Вирішено задачу вибору раціонального складу постачальників КМС, з урахуванням основних показників. Вирішено задачу обґрунтування логістичних ланцюгів для оптимальної вза-

ємодії постачальник – виробник, з урахуванням можливих логістичних ризиків. Проведено агентне імітаційне моделювання маршрутів руху КМС у логістичних ланцюгах постачання, з урахуванням перевалок вантажів з однієї магістралі на іншу та ризиків.

Наукова новизна проведеного дослідження пов'язана з розробкою методу, спрямованого на вибір постачальників для виробництва високотехнологічної продукції, який на відміну від існуючих, дозволяє враховувати довгі логістичні ланцюги постачання, перевалки вантажів та ризики у різномірному транспортному середовищі. Запропонований підхід дозволяє, при плануванні нового портфелю замовлень високотехнологічного підприємства, визначити раціональний склад постачальників, з урахуванням довгих логістичних ланцюгів постачання КМС у різномірному транспортному середовищі.

Література

1. Lytvynenko, D. Analyzing the interests and interaction of the participants of a transport system development project [Text] / D. Lytvynenko, A. Dorokhina, R. Artiukh // *Innovative Technologies And Scientific Solutions For Industries*, – 2019. – No. 1 (7). – P. 69-74. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.7.069.
2. Behmer, F. Planning and reorganising quality management organisations – an empirical analysis of current practice [Text] / F. Behmer, R. Jochem, H. Hanke // *Total Quality Management and Business Excellence*. – 2016. – Volume 27, Issue 7-8. – P. 963-978. DOI: 10.1080/14783363.2016.1202754.
3. Leshchenko, Yu. System Model for Decision Making Support in Logistics and Quality Management Business Processes of Manufacture Enterprise [Text] / Yu. Leshchenko, A. Yelizieva // *Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. – Springer, Cham, 2020. – Vol. 42. – P. 93-113. DOI: 10.1007/978-3-030-35649-1_5.
4. Studying the quality of logistics in the life cycle of innovative technology creation: monograph [Text] / O. Fedorovich, V. Kosenko, Yu. Leshchenko, Yu. Pronchakov. – Riga : ISMA, 2020. – 177 p.
5. Mindur, M. Logistics in Shaping Competitive Edge of Enterprises [Text] / M. Mindur, A. Jezierski // *Logistics and Transport*. – 2018. – Vol. 40, No. 4. – P. 67-72. DOI: 10.26411/83-1734-2015-4-40-9-18.
6. Simulation of the business processes of the developing enterprise to create complex products with multi-level component architecture [Text] / O. Fedorovich, Yu. Pronchakov, A. Yelizieva, Yu. Leshchenko // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2021. – № 4 (172). – С. 79-86. DOI: 10.32620/akt.2021.4.11.

7. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise [Text] / O. Fedorovich, O. Uruskiy, Yu. Pronchakov, M. Lukhanin // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2021. – № 1 (97). – P. 150-157. DOI: 10.32620/reks.2021.1.13.

8. Koc, Kerim. Stakeholder-Associated Life Cycle Risks in Construction Supply Chain [Text] / Kerim Koc, Asli Pelin Gurgun // *Journal of Management in Engineering*. – 2021. – Vol. 37, Iss. 1. – Article Id: 04020107-1. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000881.

9. Кравець, П. О. Динамічна координація стратегій мультиагентних систем [Текст] / П. О. Кравець // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2011. – No. 699. – P. 134–144.

References

1. Lytvynenko, D., Dorokhina, A., Artiukh, R. Analyzing the interests and interaction of the participants of a transport system development project. *Innovative Technologies And Scientific Solutions For Industries*, 2019, no. 1 (7), pp. 69-74. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.7.069.

2. Behmer, F., Jochem, R., Hanke, H. Planning and reorganising quality management organisations – an empirical analysis of current practice. *Total Quality Management and Business Excellence*, 2016, vol. 27, Iss. 7-8, pp. 963-978. DOI: 10.1080/14783363.2016.1202754.

3. Leshchenko, Y., Yelizieva, A. System Model for Decision Making Support in Logistics and Quality Management Business Processes of Manufacture Enter-

prise. *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2020, vol. 42. Springer, Cham, pp. 93-113. DOI: 10.1007/978-3-030-35649-1_5.

4. Fedorovich, O., Kosenko, V., Leshchenko, Yu., Pronchakov, Yu. *Studying the quality of logistics in the life cycle of innovative technology creation*: monograph. Riga, ISMA Publ., 2020. 177 p.

5. Mindur, M., Jezierski, A. Logistics in Shaping Competitive Edge of Enterprises. *Logistics and Transport*, 2018, vol. 40, no. 4, pp. 67-72. DOI: 10.26411/83-1734-2015-4-40-9-18.

6. Fedorovych, O., Pronchakov, Yu., Yelizieva, A., Leshchenko, Yu. Simulation of the business processes of the developing enterprise to create complex products with multi-level component architecture. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2021, no. 4 (172), pp. 79-86. DOI: 10.32620/akt.2021.4.11.

7. Fedorovich, O., Uruskiy, O., Pronchakov, Yu., Lukhanin, M. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2021, no. 1 (97), pp. 150-157. DOI: 10.32620/reks.2021.1.13.

8. Koc, Kerim, Gurgun, Asli Pelin. Stakeholder-Associated Life Cycle Risks in Construction Supply Chain. *Journal of Management in Engineering*, 2021, vol. 37, Iss. 1, Article Id: 04020107-1. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000881.

9. Kravets, P. O. Dynamichna koordynatsiya stratehiy mul'tyahentnykh system [Dynamic coordination of multi-agent systems strategies]. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, 2011, no. 699, pp. 134-144.

Надійшла до редакції 15.08.2021, розглянута на редколегії 23.09.2021

ВЫБОР ПОСТАВЩИКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ ДЛИННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВКИ ГРУЗОВ

О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончак, К. О. Рибка, Ю. О. Лещенко

Ставится и решается научно-прикладная задача выбора поставщиков комплектующих, материалов и сырья (КМС) для производства высокотехнологической продукции (авиастроение, судостроение др.) со сложной компонентной многоуровневой архитектурой изделия. Большое внимание уделено исследованию длинных логистических цепей поставки КМС с учетом разнородной транспортной сети (авиационного, железнодорожного, автомобильного и др. транспорта) с переходами грузов с одной магистрали на др. Актуальность темы публикации связана с исследованием влияния удаленности поставщиков и разнородности транспортной сети на сроки, расходы и риски доставки КМС в производство высокотехнологической продукции, с учетом длинных логистических цепей, которые обеспечивают взаимодействие поставщика и производителя. Целью исследования является решение задачи рационального выбора поставщиков с учетом логистики поставки КМС в разнородной транспортной среде. Из-за сложности решаемой задачи она носит комплексный характер и включает следующие этапы исследования: выбор поставщиков, с учетом компонентной архитектуры сложного изделия; формирование логистической цепи доставки КМС; исследование влияния перевалок грузов в разнородной транспортной среде. Решение первой задачи носит комбинаторный характер и сводится к целенаправленному перебору множества возможных поставщиков. Решение второй задачи связано с выбором оптимальных логистических цепей доставки КМС от поставщика к производителям. Решение третьей задачи основано на моделировании движения грузов с учетом перевалок и возможных рисков. Используются математические методы: системный анализ для представления компонентной архитектуры сложного изделия; целочисленное (булево) программирование для оптимизации основных логи-

стических показателей; агентное имитационное моделирование для исследования логистических цепей доставки грузов с перевалками и возможными рисками (климатические, пандемические, террористические и т.п.).

Ключевые слова: распределенное производство; поставщики комплектующих; логистическая цепь поставок; перевалки; риски снабжения; оптимизация; агентное моделирование.

SELECTION OF SUPPLIERS FOR THE MANUFACTURE OF HIGH-TECHNOLOGICAL PRODUCTS CONSIDERING LONG LOGISTIC CARGO DELIVERY CHAINS SELECTING SUPPLIERS

O. Fedorovych, Yu. Pronchakov, K. Rybka, Yu. Leshchenko

The scientific and applied problem of choosing suppliers of components, materials, and raw materials (CMRM) for the production of high-tech products (aircraft construction, shipbuilding, etc.) with a complex multi-level component architecture of the product is posed and solved. Much attention is paid to the study of long logistic supply chains for CMRM, considering the heterogeneous transport network (aviation transport, rail transport, road transport, etc.) with the transition of goods from one highway to another. The relevance of the topic of the publication is related to the study of the influence of the remoteness of suppliers and the heterogeneity of the transport network on the timing, costs, and risks of delivering CMRM to the production of high-tech products, considering the long supply chains that ensure the interaction between the supplier and the manufacturer. The research solves the problem of a rational choice of suppliers, considering the logistics of CMRM delivery in a heterogeneous transport environment. Due to the complexity of the problem being solved, it is complex and includes the following research stages: selection of suppliers, considering the component architecture of a complex product; formation of a logistics chain for the delivery of CMRM; a study of the effect of cargo transshipment in a heterogeneous transport environment. The solution of the second problem is associated with the choice of optimal logistics chains for the delivery of CMRM from the supplier to the manufacturers. The solution to the third problem is based on modeling the movement of goods, considering transshipment and possible risks. Mathematical methods used system analysis to represent the component architecture of a complex product; integer (boolean) programming to optimize the main logistic indicators; agent-based simulation modeling for the study of logistics chains for the delivery of goods with transshipment and possible risks (climatic, pandemic, terrorist, etc.).

Keywords: distributed manufacturing; component suppliers; logistics supply chain; transshipment; supply risks; optimization; agent-based modeling.

Федорович Олег Євгенович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Прончаков Юрій Леонідович – канд. техн. наук, доцент, декан факультету програмної інженерії та бізнесу, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Рибка Ксенія Олегівна – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Лещенко Юлія Олександрівна – канд. техн. наук, доцент каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Oleg Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

Yurii Pronchakov – Candidate of Technical Sciences, PhD, Associate Professor, Dean of the Software Engineering and Business Faculty, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: pronchakov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0027-1452.

Kseniia Rybka – Candidate of Technical Sciences, PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine, e-mail: k.zapadnia@khai.edu, ORCID: 0000-0002-9705-7470.

Yuliia Leshchenko – Candidate of Technical Sciences, PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine, e-mail: j.leshchenko@khai.edu, ORCID: 0000-0001-9232-697X.