

О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Лещенко, А. В. Єлізева

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

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТНОГО МЕТОДУ В ЛОГІСТИЦІ ПОСТАЧАВАННЯ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. У пропонованій публікації проводиться дослідження логістичних процесів у розподіленому виробництві високотехнологічної продукції машинобудування (авіабудування, суднобудування тощо). Для створення інноваційного виробу машинобудування системно представлена архітектура, яка у подальшому використовується в логістиці постачання, виробництва та збуту продукції. Використовується компонентний підхід при формуванні архітектури складного виробу, якій дозволяє представити окремі складові виробу у вигляді відносно ізольованих елементів, що спрощує процес проектування та виробництва складної техніки. **Актуальність теми публікації** пов'язана з дослідженням логістичних процесів, при створенні складного виробу, на основі компонентної архітектури. **Метою дослідження** є підвищення ефективності логістичних процесів розподіленого виробництва на основі використання компонентної архітектури високотехнологічного виробу. Дослідження проводиться у два етапи. На першому етапі формується множина постачальників продукції з урахуванням логістичних витрат, пов'язаних з виробництвом та доставкою комплектуючих (компонент) у виробничу систему складального типу. На другому етапі, з урахуванням різномірної транспортної системи (авіаційний, залізничний, автомобільний та інші види транспорту), здійснюється вибір транспортних магістралей з можливими перевалками вантажів. Проводиться оптимізація для раціонального вибору транспортних магістралей, з урахуванням логістичних витрат, часу доставки вантажів та ризиків. На останньому етапі дослідження створена модель динамічних процесів логістики постачання у складальне виробництво. Проводиться імітаційне моделювання руху заявок (вантажів) у різномірній транспортній системі, засноване на хвилюобразному русі заявок, яке дозволяє мінімізувати час доставки комплектуючих, витрати та ризики. **Використані математичні методи:** системний аналіз, для представлення структури складного виробу; компонентний підхід, для формування багаторівневої архітектури виробу; цілочисельна оптимізація, логістичних витрат; імітаційне подійне моделювання, за допомогою агентів, для вибору раціональних маршрутів поставок комплектуючих. **Запропонований підхід дозволяє** системно дослідити та оптимізувати логістичні процеси постачання розподіленого виробництва на основі компонентної архітектури складного виробу машинобудування.

Ключові слова: компонентна архітектура; логістика постачання; розподілене виробництво; оптимізація логістичних витрат; агентне моделювання.

Вступ

Розподілена виробнича система, яка виникла в умовах глобалізації, є основою сучасного виробництва високотехнологічної продукції в авіабудуванні, суднобудуванні тощо [1]. Розподіленість виробництва призводить до збільшення логістичних операцій, пов'язаних з транспортуванням та складуванням [2]. Це приводить до економічних витрат, пов'язаних з виконанням допоміжних операцій, які обслуговують основні технологічні процеси [3].

Сучасні підходи до створення високотехнологічної продукції, засновані на архітектурному представленні складного виробу у вигляді множини відносно ізольованих та пов'язаних між собою компонент [4]. При цьому архітектура виробу представляє собою деревовидну структуру, яка складається з компонентів різних рівнів, які для свого виготовлення вимагають формування логістичних ланцюжків постачання комплектуючих. Тому актуальна тема цієї публікації, в якій представлено результати дослідження логістики постачання комплектуючих (компонент) у виробництво складного виробу.

Постановка задачі дослідження

У багаторівневій архітектурі високотехнологічного виробу можна відокремити такі види компонент:

- компоненти першого типу, які вироблені та вимагають доставку у виробничу систему;

- компоненти другого типу, які повинні бути вироблені та після цього доставлені у виробництво;

- компоненти третього типу, які повинні пройти повний цикл створення (проектування, виробництво, збут) і тільки після цього доставлені у виробничу систему.

Відокремлені типи компонент пов'язані з різними значеннями витрат на виготовлення (W), строком випуску (T) комплектуючих та ризиком (R) [5]. Мінімальні значення показників W , T , R , пов'язані з першим типом компонент, а максимальні значення – з третім типом компонент. Вироби, які вироблені здебільшого з першого типу компонент, пов'язані з тривалим строком виробництва, впродовж якого, відбувається падіння попиту та виникають складнощі з реалізацією продукції [6]. Виріб, який було створено за допомогою компонент третього типу, має підвищену конкурентоздатність, затребуваний на ринку високотехнологічної продукції, але потребує достатньо великих витрат та час на виготовлення, що пов'язано з інноваційністю та підвищеним ризиком створення. Компромісним рішенням є створення складного виробу, засноване на раціональному виборі складу компонент для формування архітектури виробу та його використання у логістиці створення складної техніки.

Представимо компонентну архітектуру складного виробу, який створюється, у багаторівневному вигляді (рис. 1). Верхній рівень пов'язаний зі збіркою

складного виробу із підбірок сусіднього нижнього рівня архітектури. Середні рівні, пов'язані з підбірками, які формуються з підбірок нижніх рівнів. На рис. 1 (з права) наведена структура логістики виробництва компонент, з урахуванням багаторівневої архітектури виробу. Після закінчення виробництва комплектуючих (компонент), здійснюється їх транспортування у складальне виробництво. При цьому перший тип компонент, які постачаються, відповідає поставці виготовлених компонент (які є на складі), другий – виробництву та поставці, третій – проектуванню, виробництву та поставці компонент.

У зв'язку зі складністю задачі, що розглядається, її рішення вимагає виконання наступних етапів:

1. Визначення множини постачальників комплектуючих (компонент) складного виробу.

2. Маршрутизація постачання комплектуючих виробу за допомогою транспортної системи перевезень.

Рішення задачі дослідження

З урахуванням відокремлених типів компонент складного виробу, представимо логістичні показники, пов'язані з поставками комплектуючих у вигляді:

w_{ija} – витрати, пов'язані з поставкою j -ї компоненти першого типу для i -го рівня збірки складного виробу a -м можливим постачальником;

w_{ikb} – витрати, пов'язані з виробництвом та поставкою k -ї компоненти другого типу для i -го рівня збірки складного виробу b -м можливим постачальником;

w_{iec} – витрати, пов'язані з проектуванням, виробництвом та постачанням e -ї компоненти третього типу для i -го рівня збірки складного виробу c -м можливим постачальником;

t_{ija} – строки, пов'язані з поставкою j -ї компоненти першого типу для i -го рівня збірки складного виробу a -м постачальником;

t_{ikb} – строки, пов'язані з поставкою k -ї компоненти другого типу для i -го рівня збірки складного виробу b -м постачальником;

t_{iec} – строки, пов'язані з поставкою e -ї компоненти третього типу для i -го рівня збірки складного виробу c -м постачальником;

r_{ija} – ризик поставки j -ї компоненти першого типу для i -го рівня збірки складного виробу a -м постачальником;

r_{ikb} – ризик поставки k -ї компоненти другого типу для i -го рівня збірки складного виробу b -м постачальником;

r_{iec} – ризик поставки e -ї компоненти третього типу для i -го рівня збірки складного виробу c -м постачальником.

Показники витрат, строків та ризиків, пов'язаних з постачанням комплектуючих (компонент) для виробництва складного виробу будуть мати наступний вигляд:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} w_{ija} x_{ija} + \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} w_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} w_{iec} x_{iec};$$

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} t_{ija} x_{ija} + \quad (2)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} t_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} t_{iec} x_{iec};$$

$$R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} r_{ija} x_{ija} + \quad (3)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} r_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} r_{iec} x_{iec},$$

тут N – кількість рівнів представлення компонентів для складального виробництва складного виробу;

n_i – кількість компонент першого типу на i -му рівні складання складного виробу;

m_i – кількість компонент другого типу на i -му рівні складання складного виробу;

l_i – кількість компонент третього типу на i -му рівні складання складного виробу;

n_j – кількість можливих постачальників j -ї компоненти першого типу для i -го рівня складання складного виробу;

m_k – кількість можливих постачальників k -ї компоненти другого типу для i -го рівня складання складного виробу;

l_e – кількість можливих постачальників e -ї компоненти третього типу для i -го рівня складання складного виробу;

x_{ija} , x_{ikb} , x_{iec} – булеві змінні,

$$x_{ija} = \begin{cases} 1 - \text{якщо для поставки компоненти } j \\ \text{першого типу для рівня } i \text{ складання} \\ \text{виробу використовувався постачальник } a, \\ 0 - \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

$$x_{ikb} = \begin{cases} 1 - \text{якщо для поставки компоненти } k \\ \text{другого типу для рівня } i \text{ складання} \\ \text{виробу використовувався постачальник } b, \\ 0 - \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

$$x_{iec} = \begin{cases} 1 - \text{якщо для поставки компоненти } e \\ \text{третього типу для рівня } i \text{ складання} \\ \text{виробу використовувався постачальник } c, \\ 0 - \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

при цьому $\sum_{a=1}^{n_j} x_{ija} = 1$, $\sum_{b=1}^{m_k} x_{ikb} = 1$, $\sum_{c=1}^{l_e} x_{iec} = 1$.

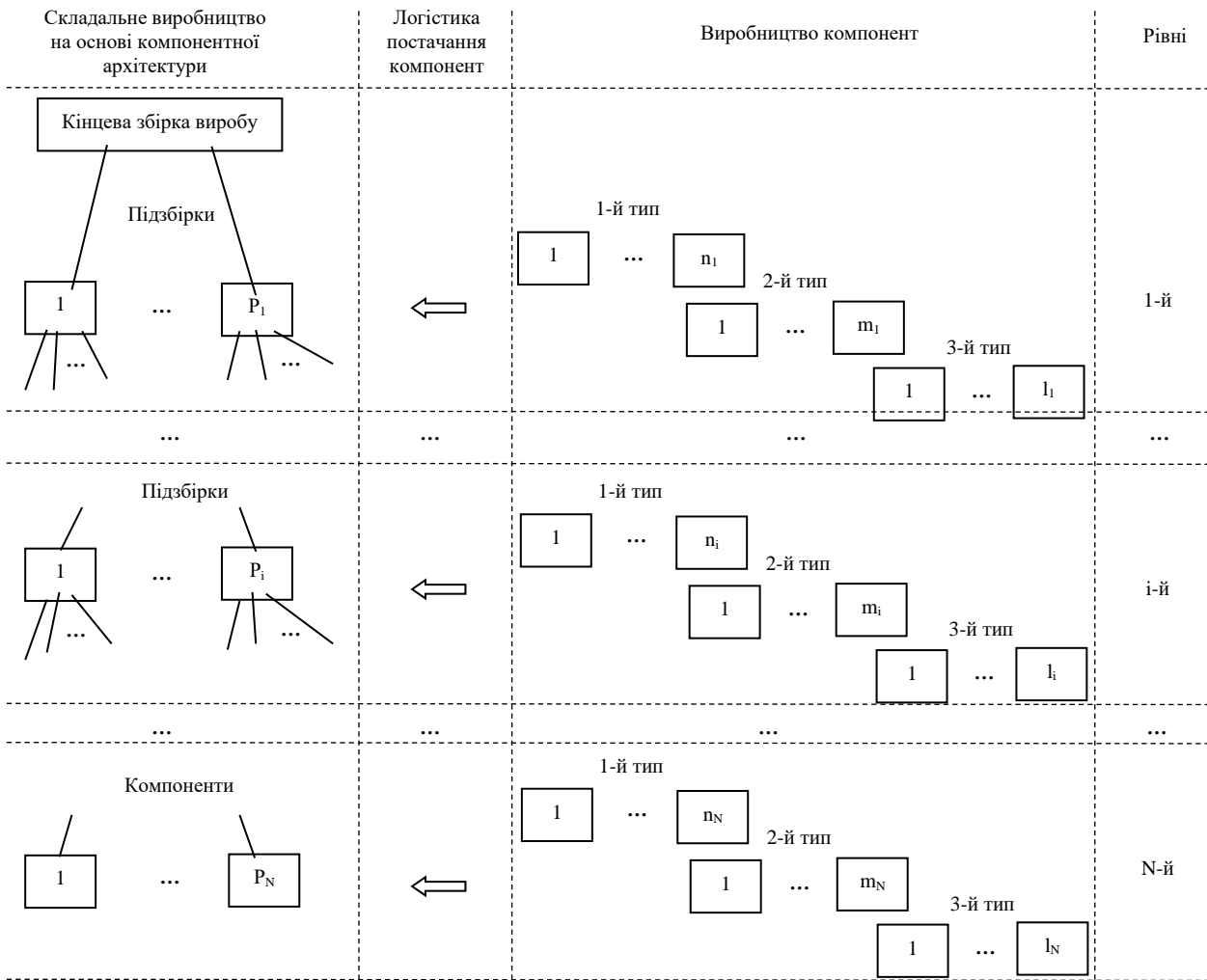


Рис. 1. Багаторівневе компонентне представлення логістики постачання та виробництва складної техніки
(Fig. 1. Multilevel component representation of supply logistics and production of complex equipment)

Задачу вибору постачальників сформуємо у термінах цілочисельного (булевого) програмування.

Необхідно мінімізувати основні показники W, T, R з урахуванням обмежень у вигляді допустимих логістичних витрат – W' , строків поставок – T' , ризиків – R' . В якості прикладу, розглянемо мінімізацію показника витрат:

$$\min W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} w_{ija} x_{ija} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} w_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} w_{iec} x_{iec};$$

з урахуванням виконання обмежень:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} t_{ija} x_{ija} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} t_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} t_{iec} x_{iec};$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{a=1}^{n_j} r_{ija} x_{ija} +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{b=1}^{m_k} r_{ikb} x_{ikb} + \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^{l_i} \sum_{c=1}^{l_e} r_{iec} x_{iec}. \quad (6)$$

Пошук компромісного рішення для показників W, T, R зводиться до мінімізації комплексного критерія Q , який можна представити у вигляді простої адитивної згортки:

$$Q = \alpha_W \cdot W + \alpha_T \cdot T + \alpha_R \cdot R, \quad (7)$$

де $\alpha_W, \alpha_T, \alpha_R$ – «ваги» (значимість) показників, які отримуються за допомогою оцінок експертів:

$$\alpha_W + \alpha_T + \alpha_R = 1,$$

$$W = \frac{W - W^*}{W' - W^*}, \quad T = \frac{T - T^*}{T' - T^*}, \quad R = \frac{R - R^*}{R' - R^*}, \quad (8)$$

тут W^*, T^*, R^* – мінімальні значення показників, отримані у результаті їх незалежної оптимізації з урахуванням обмежень W', T', R' . Необхідно знайти мінімум значення показника Q :

$$\min Q, Q = \alpha_W \cdot W + \alpha_T \cdot T + \alpha_R \cdot R.$$

Рішення задачі, пов'язаної з маршрутизацією постачання комплектуючих у складальне виробницт-

во, складається з наступних підзадач: вибір транспортних магістралей для доставки комплектуючих; визначення оптимальних маршрутів постачання комплектуючих. Доставка промислових вантажів здійснюється різними типами транспортних магістралей (авіаційний, автомобільний, залізничний, морський тощо). Наявність розгалужених транспортних магістралей дозволяє використовувати змішані транспортні системи для доставки вантажів. Наприклад, транспортування комплектуючих здійснюється за логістичним ланцюгом: автомобільний → авіаційний → залізничний → автомобільний види транспорту. Вибір транспортної магістралі повинен здійснюватися з урахуванням логістичних витрат (W), строків доставки комплектуючих (T), ризиків доставки (R).

Рішення першої задачі дозволило визначити усіх постачальників комплектуючих (компонент) для кожного i -го рівня складання складного виробу у виробничій системі. Введемо представлення показників W , T , R для окремих j -х компонент (комплектуючих), які постачаються за допомогою транспортної мережі p -го типу у виробничу систему, для складання складного виробу, на i -му рівні у вигляді: $w_{ijp}, t_{ijp}, r_{ijp}$. Тоді:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} w_{ijp} x_{ijp}, \quad (9)$$

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} t_{ijp} x_{ijp}, \quad R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} r_{ijp} x_{ijp}, \quad (10)$$

де d_i – кількість j -х компонент i -го рівня складання виробу; s_j – кількість можливих типів транспортних систем, які використовуються для доставки j -ї компоненти (у тому числі транспортні системи змішаного типу), x_{ijp} – булева змінна, що дорівнює 1, якщо обрано p -й тип транспорту для доставки j -ої компоненти у виробничу систему для i -го рівня складання виробу. При цьому $\sum_{p=1}^{s_j} x_{ijp} = 1$.

В якості прикладу, розглянемо вибір транспортних магістралей з урахуванням мінімізації логістичних витрат (W). Необхідно:

$$\min W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} w_{ijp} x_{ijp}. \quad (11)$$

З урахуванням обмежень:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} t_{ijp} x_{ijp}, \quad (12)$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{d_i} \sum_{p=1}^{s_j} r_{ijp} x_{ijp}, \quad (13)$$

де T', R' – допустимі строки доставки комплектуючих та виникаючих при цьому ризиків.

Можлива багатокритеріальна постановка задачі, яка має аналогічний вигляд, як при рішенні першої задачі дослідження.

Для визначення оптимального маршруту поставки компонент (комплектуючих) у виробничу складальну систему, скористаємося розробленим авторами публікації оригінальним методом маршрутизації, заснованим на хвильовому розповсюдженні заявок від початкового джерела до кінцевого стоку. У алгоритмі, на початку, здійснюється розповсюдження заявок (вантажів) від початкового вузла (постачальника комплектуючих) до всіх найближчих транспортних вузлів різномірної транспортної системи. При цьому виникають часові затримки, пов'язані з транспортуванням вантажів. Далі, з кожного наступного транспортного вузла, шляхом розмноження (клонування) заявок, що надійшли, розповсюджуються «хвилі» заявок до всіх найближчих транспортних вузлів. У випадку, якщо заявка приходить до вузла, через який вже пройшла заявка (або клон), то вона відкидається (знищується), як не перспективна з точки зору, наприклад, часу руху вантажу. Зрештою, у складальне виробництво складного виробу приходить заявка, маршрут якої відповідає мінімальному часу руху. У випадку переходу заявки (вантажів) з однієї транспортної системи на іншу, виникає додаткова затримка, пов'язана з перевалкою вантажу з одного виду транспорту на інший. Реалізація запропонованого методу здійснена за допомогою агентного представлення імітаційного подійного моделювання (платформа JADE) [7].

В імітаційній моделі використовується такі агенти: «Джерело», з якого починається рух заявки; «Стік», пов'язаний з i -м рівнем складання у виробничій системі, куди рухається j -а компонента виробу; «Транспортна система» (ТС) представлена у вигляді пов'язаного графу з транспортними вузлами та ділянками магістралі, які їх з'єднують; «Затримка на ділянці ТС», пов'язана з рухом вантажу по ділянці магістралі ТС; «Затримка на вузлі ТС», пов'язана з затримкою для проміжного зберігання вантажу; «Перевалка», використовується у випадку переходу з транспортної системи одного типу до іншого; «Монітор» служить для планування подій, пов'язаних з рухом вантажів. Запускає інші агенти системи; «Результати». Здійснюється видача результатів моделювання у вигляді маршрутів руху вантажів (комплектуючих) в ТС.

На рис. 2 представлена структурна схема агентної моделі.

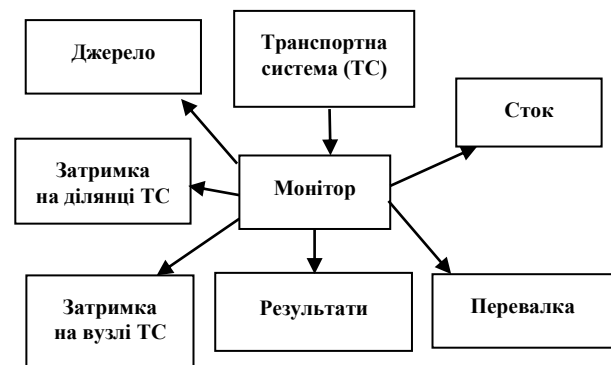


Рис. 2. Структурна схема агентної моделі (Fig. 2. Block diagram of the model based on agents)

Висновки

Проведене дослідження логістики постачання у розподіленому виробництві високотехнологічної продукції. При створенні складного виробу використовується компонентна архітектура, яка представлена у складальних процесах виробництва складної техніки (збірки, підзбірки тощо). Відокремлені типи компонент, які впливають на витрати, час постачання та ризики, пов'язані з логістикою виробництва та доставкою комплектуючих (компонент) у складальне виробництво. Вирішено задачу вибору множини постачальників комплектуючих з використанням цілочисельного (булевого) програмування. Враховуючи розгалуженість транспортних систем та їх різноманітність для мультимодальних перевезень ван-

тажів, вирішено задачу визначення множини магістралей для доставки комплектуючих. Для формування маршруту руху комплектуючих у виробничу систему, запропоновано оригінальний алгоритм, заснований на «хвильовому» русі заявок (вантажів) у різноманітній транспортній мережі.

Наукова новизна дослідження, пов'язана з розробкою нового методу у логістиці постачання розподіленого виробництва, заснованого на компонентній архітектурі високотехнологічної продукції машинобудування.

Запропонований підхід доцільно використовувати на початковому етапі створення нової інноваційної техніки, коли необхідно враховувати логістику розподіленого виробництва, витрати, час доставки комплектуючих та супутні при цьому ризики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lindgren, M. Scenario Planning The link between future and strategy / M. Lindgren, H. Bandhold. *Palgrave Macmillan UK*. 2002. – 180 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1057/9780230511620>.
2. Федорович, О.Є. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва / О.Є. Федорович, Ю.Л. Прончаків // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2020, №2(94), С. 102 – 108. DOI: <http://dx.doi.org/10.32620/reks.2020.2.09>
3. Uskenbayeva, R. K. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process / R. K. Uskenbayeva, B. K. Kurmangaliyeva, D. Yedilkhan // 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015. – Hangzhou; China, – P. 292 – 297. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SICE.2015.7285573>.
4. Fedorovich, O. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise / O. Fedorovich, O. Uruskiy, Yu. Pronchakov, M. Lukhanin // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2021, – No. 1 (97). – P. 150 – 157. DOI: <http://dx.doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>
5. Paulsen, S. Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management / S. Paulsen, J. Boens. – National Institute of Standards and Technology, 2012, – 21 p.
6. Pawluczuk, Ju. К проблеме управления производственными ресурсами предприятия / Ju. Pawluczuk // *Zarządzanie: Teoria i praktyka*, 2011. – № 1(3). – С. 17 – 26.
7. Кравець, Р. О. Динамічна координація стратегій мультиагентних систем / Р. О. Кравець // *Бюлетень Національного університету «Львівська політехніка»*, 2011. – No. 699. – P. 134 – 144.

REFERENCES

1. Lindgren, M., Bandhold H. (2002) Scenario Planning The link between future and strategy. Palgrave Macmillan UK, 180 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1057/9780230511620>.
2. Fedorovich, O. E., Pronchakov, Yu. L. (2021) Metod formuvannya lohistrychnykh transportnykh vza-yemodiy dlya novoho portfelyu zamovlen' rozpodileno-ho virtual'noho vyrobnytstva [Method of formation of logistic transport interactions for a new portfolio of orders of distributed virtual production]. *Radioelektronni i komp'yuterni systemy - Radio electronic and computer systems*, 2020, no. 2(94), pp. 102-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.32620/reks.2020.2.09>.
3. Uskenbayeva, R., Kurmangaliyeva, B., Yedilkhan, D. (2015) Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process. *54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Hangzhou, China, pp. 292-297. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SICE.2015.7285573>.
4. Fedorovich O., Uruskiy O., Pronchakov Yu., Lukhanin M. (2021) “Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise”, *Radio electronic and computer systems*, 2021, no. 1 (97), pp. 150-157. DOI: <http://dx.doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>
5. Paulsen, S., Boens, J. (2012) “Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management”, *National Institute of Standards and Technology*, 2012. – 21 p.
6. Pawluczuk, Ju. (2011) К проблеме управления производственными ресурсами predpriyatiya [Problemy zarzadzania zasobami produkcyjnymi przedsiębiorstwa]. *Zarządzanie : Teoria i praktyka*, 2011, no. 1 (3), pp. 17-26.
7. Kravets, P. O. (2021) “Dynamic coordination of multi-agent systems strategies”. *Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”*, no. 699, pp. 134-144.

Received (Надійшла) 11.06.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.08.2021

ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Федорович Олег Євгенович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

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

Прончаків Юрій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету програмної інженерії та бізнесу, Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

Yurii Pronchakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Software Engineering and Business Faculty, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: pronchakov@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0027-1452>.

Лещенко Юлія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

Yuliia Leshchenko – Candidate of Technical 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 ID: <http://orcid.org/0000-0001-9232-697X>.

Слізева Аліна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

Alina Yelizieva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer science and information technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine,
e-mail: a.elizeva@khai.edu; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8228-9383>.

Использование компонентного метода в логистике поставок комплектующих высокотехнологичного производства

О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. А. Лещенко, А. В. Елизева

Аннотация. В предлагаемой публикации проводится исследование логистических процессов в распределенном производстве высокотехнологичной продукции машиностроения (авиастроение, судостроение и т.д.). Для создания инновационного изделия машиностроения системно представлена архитектура, которая в дальнейшем используется в логистике снабжения, производства и сбыта продукции. Используется компонентный подход при формировании архитектуры сложного изделия, которой позволяет представить отдельные составляющие изделия в виде относительно изолированных элементов, что упрощает процесс проектирования и производства сложной техники. **Актуальность темы** публикации связана с исследованием логистических процессов, при создании сложного изделия, на основе компонентной архитектуры. **Целью** исследования является повышение эффективности логистических процессов распределенного производства на основе использования компонентной архитектуры высокотехнологичного изделия. Исследование проводится в два этапа. На первом этапе формируется множество поставщиков продукции с учетом логистических расходов, связанных с производством и доставкой комплектующих (компонент) в производственную систему сборочного типа. На втором этапе, с учетом разнородной транспортной системы (авиационный, железнодорожный, автомобильный и другие виды транспорта), осуществляется выбор транспортных магистралей с возможными перевалками грузов. Проводится оптимизация для рационального выбора транспортных магистралей, с учетом логистических затрат, времени доставки грузов и рисков. На последнем этапе исследования создана модель динамических процессов логистики поставок в сборочное производство. Проводится имитационное моделирование движения заявок (грузов) в разнородной транспортной системе, основанное на волнообразном движении заявок, которое позволяет минимизировать время доставки комплектующих, расходы и риски. **Использованы математические методы:** системный анализ для представления структуры сложного изделия; компонентный подход для формирования многоуровневой архитектуры изделия; целочисленная оптимизация логистических затрат; имитационное событийное моделирование, с помощью агентов, для выбора рациональных маршрутов поставки комплектующих. **Предложенный подход позволяет** системно исследовать и оптимизировать логистические процессы снабжения распределенного производства на основе компонентной архитектуры сложного изделия машиностроения.

Ключевые слова: компонентная архитектура; логистика снабжения; распределенное производство; оптимизация логистических затрат; агентное моделирование.

Using of the component method in logistics of supplies of high-tech production components

Oleg Fedorovich, Yurii Pronchakov, Yuliia Leshchenko, Alina Yelizieva

Abstract. In this paper the research of logistics processes in the distributed manufacture of high-tech engineering products (aircraft construction, shipbuilding, etc.) is carried out. The architecture is systematically presented for creation of innovative engineering product, which is further used in the logistics of supply, production and sales of products. For the formation of the architecture of a complex product the component approach is used, which makes it possible to represent individual components of a product in the form of relatively isolated elements, which simplifies the design and production of complex technique. **The topicality of this paper** is associated with the research of logistics processes in creating a complex product based on component architecture. **The purpose of the research** is improving of the logistics processes efficiency in distributed manufacture based on the using of the component architecture of a high-tech product. The research is carried out in two stages. At the first stage the set of suppliers of products are formed taking into account the logistics costs associated with the production and delivery of components to an assembly type production system. At the second stage the choice of transport routes with possible transshipment of goods is carried out taking into account the dissimilar transport system (aviation, rail, road and other types of transport). Optimization is carried out for the rational choice of transport routes taking into account logistics costs, delivery time and risks. At the last stage of the research the model of dynamic processes of logistics of supplies into assembly production was created. Simulation of the movement of requests (cargo) in a dissimilar transport system is carried out, which is based on the wave-like movement of applications and allows minimizing the delivery time of components, costs and risks. **Mathematical methods were used:** system analysis to represent the structure of a complex product; component approach for the formation of multilevel product architecture; integer optimization of logistics costs; event-based and agent-based simulation to select rational routes for the supply of components. **The proposed approach allows** you to research systematically and optimize the logistics processes of distributed manufacture supplying based on the component architecture of a complex engineering product.

Keywords: component architecture; logistics of supplies; distributed manufacture; optimization of logistics costs; agent-based modeling.