

УДК 658.7:658.74:338.3-021.131

doi: 10.32620/reks.2020.2.09

О. Є. ФЕДОРОВИЧ, Ю. Л. ПРОНЧАКОВ

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

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ВЗАЄМОДІЙ ДЛЯ НОВОГО ПОРТФЕЛЮ ЗАМОВЛЕНЬ РОЗПОДІЛЕНОГО ВІРТУАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Предметом дослідження в статті є організація логістичних взаємодій у розподіленому віртуальному виробництві високотехнологічної продукції. Метою роботи є розробка метода пошуку раціональних маршрутів в різномірній транспортній мережі з урахуванням часу (строків), витрат та ризиків. В статті вирішуються наступні задачі: дослідження логістичних взаємодій в розподіленому віртуальному виробництві високотехнологічної продукції (авіабудування, автомобілебудування та інші.). Логістичні взаємодії здійснюються в різномірній транспортній мережі, яка пов'язує окремі технологічні процеси високотехнологічного виробництва. Аналізуються особливості логістики, пов'язані з віртуалізацією виробництва при формуванні нового портфелю замовлень. Визначаються постачальники матеріалів, сировини, комплектуючих, розташовані у вузлах різномірної транспортної мережі й є джерелом вантажів, які транспортуються у розподіленому віртуальному виробництві. Для оцінювання можливих маршрутів руху вантажів у різномірній транспортній мережі було введено показники часу (строки доставки вантажів), витрати на перевезення та ризики. Цілеспрямований пошук раціональних маршрутів руху здійснюється за допомогою запропонованого алгоритму генерування та руху числових «хвиль» в різномірній транспортній мережі. Побудована імітаційна модель, за допомогою якої моделюється процес розповсюдження числової «хвилі» за допомогою планування та реалізації подій, пов'язаних з надходженням вантажів, що перевозяться у вузли різномірної транспортної мережі. Розроблено алгоритм моделювання руху заявок до сусідніх вузлів по відношенню до вузла, що розглядається, різномірної транспортної мережі. Враховані глухо кутові вершини та можливі паралельні шляхи рівних типів транспортування, що поєднують сусідні вершини. Побудований алгоритм включає дві фази моделювання: досягнення «фінішного» вузла, та зворотна фаза, пов'язана з визначенням маршруту руху. Алгоритм пошуку є універсальним та дозволяє знаходити маршрути з мінімальним часом руху вантажів, витратами та ризиками. Запропоновано пошук компромісного маршруту, який задовольняє суперечливим критеріям часу, витрат та ризиків. Метод пошуку раціональних маршрутів оформлено у вигляді агентної імітаційної моделі. В статті використовуються наступні методи: системний аналіз для формування топології структури різномірної транспортної мережі; теорія графів для представлення потоків та маршрутів руху вантажів; імітаційне моделювання для генерування та руху числових «хвиль»; оптимізація маршрутів, заснована на імітаційному моделюванні; багатокритеріальна оптимізація для пошуку раціональних маршрутів; агентне моделювання для формування маршрутів руху в різномірній транспортній мережі. Висновки: запропонований метод пошуку раціональних маршрутів в різномірній транспортній мережі дозволяє на початкових етапах планування нового портфелю замовлень, організовувати логістичні транспортні взаємодії в розподіленому віртуальному виробництві.

Ключові слова: *розподілене віртуальне виробництво; формування логістичних взаємодій у виробничій системі; агентне моделювання руху числових «хвиль»; пошук раціональних маршрутів руху вантажів в різномірній транспортній мережі.*

Вступ

Розподіленість сучасних виробничих систем в умовах глобалізації та зростання конкурентності на ринках збуту високотехнологічної продукції (авіабудування, суднобудування та ін.) привели до створення віртуальних підприємств з високим ступенем автоматизації та інформатизації основних логістичних процесів, що відповідає вимогам INDUSTRY 4.0

[1 – 3]. При цьому для забезпечення безперебійності технологічних процесів виробництва високотехнологічної продукції необхідно заздалегідь, при формуванні нового портфелю замовлень, організовувати логістичні зв'язки з виробниками сировини, матеріалів то комплектуючих, з урахуванням існуючої розподіленої транспортної мережі [4 – 6]. Тому актуальна тема запропонованої публікації, в якій досліджується організація транспортних взаємодій в

розподіленому віртуальному підприємстві на основі запропонованого підходу [7 – 9].

1. Постановка завдання дослідження

Нехай, при організації віртуального підприємства для виконання нового портфелю замовлень, визначені основні технологічні підсистеми, які розподілені та знаходяться у різних вузлах різнорідної транспортної мережі [10 – 12]. Визначені постачальники матеріалів, сировини та комплектуючих, які теж знаходяться у визначених вузлах транспортної мережі. Необхідно організувати логістичні транспортні зв'язки між виробничими підсистемами та постачальниками, таким чином, щоб забезпечити значення заздалегідь заданих логістичних показників: час доставки T , витрати на доставку W , ризики доставки R .

Рішення задачі, в залежності від можливостей віртуального підприємства, можливо здійснити у наступних постановках:

1. Мінімізація часу (строків) доставки вантажів.
2. Мінімізація витрат на доставку вантажів.
3. Мінімізація ризиків доставки вантажів.
4. Компромісна оптимізація показників T , W , R .

2. Рішення завдання дослідження

Запропонуємо для рішення логістичної задачі, пов'язаної з доставкою вантажів виробничої системи, оригінальний метод, заснований на імітаційному подійному моделюванні агентів [13 – 15]. Базовий алгоритм складається з наступних кроків:

1. Нехай, відомо джерело розповсюдження замовлень (постачальник означених вантажів пов'язаних з новим портфелем замовлень), яке знаходиться у вузлі різнорідної транспортної мережі. Замовлення (вантаж) виходячи із цього j -го вузла отримують індекс, пов'язаний з номером цього вузла.

2. Здійснюється розповсюдження шляхом розмноження копій замовлення у вигляді «хвилі» за всіма сусідніми j_k транспортними вузлами, пов'язаних з j -м вузлом $X = 1, m_j$, де m_j — кількість можливих сусідніх вузлів. При своєму руху кожна копія j -го замовлення зачіпає означений час в залежності від типу транспортного зв'язку (автомобільний, морський, авіаційний та ін.), який поєднує j -й вузол з сусіднім j_k вузлом.

3. Приходячи улюбий j_k вузол, копія замовлення залишає метку j -го вузла.

4. Кожний новий помічений j_k вузол генерує нову «хвилю», яка розповсюджується за сусідніми,

по відношенню до j_k , вузлам різнорідної транспортної мережі залишаючи відповідні мітки, пов'язані з j_k -м вузлом.

5. Якщо «хвиля» копій замовлень потрапляє в уже помічений вузол, то здійснюється «зупинка» її руху, тому що через цей вузол пройшла конкуруюча «хвиля» з кращими характеристиками (у даному випадку, за часом).

6. Якщо вузол є глухо кутовим, то «хвиля» копій замовлень зупиняє всій рух. Окрім того, «хвиля» не повертається назад, тому що попередній вузол вже помічено.

7. Нас цікавить «фінішний» вузол, пов'язаний з переміщенням вантажу (замовлення). Як тільки «хвиля» досягає цей вузол, здійснюється «зупинка» руху замовлень (всіх можливих «хвиль»), що рухаються паралельно у різнорідній транспортній мережі).

8. Від останнього «фінішного» вузла формується маршрут руху замовлення до джерела «хвилі». Для цього від мітки у вигляді номеру попереднього вузла здійснимо перехід до цього вузла і від цього вузла до наступного попереднього, до тих пір, поки не досягнемо транспортного вузла – джерела замовлення. При цьому, при русі від поточного вузла до попереднього пункту підсумовуємо значення витрат та ризиків. В результаті отримаємо витрати та ризики для мінімального за часом маршруту. Отриманий маршрут є мінімальним (в даному випадку за часом T^*) в різнорідній транспортній мережі, в якій знаходиться джерело та «фінішний» вузол.

Для роботи запропонованого алгоритму необхідно, на початку, задати транспортну різнорідну мережу у вигляді графа G , в якому розташовано розподілене виробництво з транспортними вузлами. Дуги графу G будуть являти собою транспортні потоки, для яких необхідно вказати цілий ряд параметрів, пов'язаних з часом перевезення вантажів, витрат на перевезення та ризиків. Таким чином, кожна дуга графу G у вигляді $D_{j,j+1}$ що з'єднує j та $j+1$ вузли повинна мати наступні параметри: $t_{j,j+1}$, $w_{j,j+1}$, $r_{j,j+1}$. Прямо або опосередковано ці параметри повинні бути задані на початку моделювання. Наприклад, якщо відома відстань $l_{j,j+1}$ та швидкість руху транспортного засобу (замовлення) $v_{j,j+1}$, то

$$t_{j,j+1} = \frac{l_{j,j+1}}{v_{j,j+1}}.$$

Для моделювання витрат на доставку вантажів в розподіленому віртуальному виробництві у запропонованому алгоритмі необхідно змінити параметр часу T на витрати W та у процесі пошуку шукати маршрут з мінімальними витратами W^* . Таким же

чином вирішується задача пошуку маршруту з мінімальними ризиками. Для цього час T у запропонованому алгоритмі змінюється на ризик R та здійснюється пошук маршруту з мінімальним ризиком R^* .

Для пошуку компромісного рішення необхідно використовувати комплексний показник K де $K = \alpha_T \cdot T + \alpha_W \cdot W + \alpha_R \cdot R$, де α_T , α_W , α_R – значення «ваги» (важливості) показників, які задані експертами в логістиці перевезень.

Значення комплексного показника необхідно обчислити для кожної дуги $D_{j,j+1}$ графа G :

$$k_{j,j+1} = \alpha_T \cdot \hat{t}_{j,j+1} + \alpha_W \cdot w_{j,j+1} + \alpha_R \cdot \hat{r}_{j,j+1}$$

де $\hat{t}_{j,j+1}$; $w_{j,j+1}$; $\hat{r}_{j,j+1}$ – нормоване значення:

$$\hat{t}_{j,j+1} = \frac{t_{j,j+1}}{\sum_{j,j+1=1}^F t_{j,j+1}};$$

$$w_{j,j+1} = \frac{w_{j,j+1}}{\sum_{j,j+1=1}^F w_{j,j+1}};$$

$$\hat{r}_{j,j+1} = \frac{r_{j,j+1}}{\sum_{j,j+1=1}^F r_{j,j+1}}.$$

де F – кількість дуг $D_{j,j+1}$ у графі G різномірної транспортної мережі розподіленого віртуального виробництва.

В результаті роботи запропонованого алгоритму отримуємо мінімальне значення комплексного показника K^* .

У запропоновану алгоритмі пошуку раціональних маршрутів у різномірній транспортній мережі можливо завдання не однієї, а декількох дуг, які поєднують вершини j та $j+1$ графа G , а також умов руху за конкретними транспортними магістралями (габарити вантажів, витрати часу, аварійний стан, час доби та інш.).

Розроблене агентне представлення імітаційної моделі з наступним набором агентів:

1. Агент «транспортна мережа». Служить для завдання топології структури різномірної транспортної мережі.

2. Агент «джерело». Служить для завдання вихідного вузла транспортної мережі від якого буде рухатись вантаж.

3. Агент «фініш». Служить для індикації закінчення пошуку маршруту при досягненні вантажем (замовлення) заданого вузла транспортної мережі.

4. Агент «дуга». Служить для формування затримок за часом, а також витрат, ризиків при переході вантажу (замовлення) від j -ї до $j+1$ -ї вершини.

5. Агент «суматор». Служить для підрахунку часу, витрат та ризиків у зворотній фазі алгоритму (від фінішу до джерела).

6. Агент «монітор». Служить для управління ходом імітаційного моделювання (системний час, планування списку подій та інш.).

7. Агент «результат». Служить для видачі результатів моделювання (маршрути руху, значення T , W , R для знайдених маршрутів руху та інш.). На рис. 1 представлена блок-схема агентної моделі.

Дії «монітору» спрямовані на планування та реалізацію подій в системі. Під подією, у нашому випадку, будемо рахувати надходження замовлення у фронті «хвилі» у конкретний вузол різномірної транспортної мережі. Це замовлення є джерелом наступних k замовлень, які формують у списку майбутніх подій послідовність подій, пов'язаних з новими копіями замовлень, які надходять у сусідні вузли. Список впорядковано за часом надходження копій замовлень у сусідні вузли. Далі відбувається реалізація «монітором» подій у відповідності до упорядкованого списку подій, при цьому плануються нові події від копій замовлень, які надійшли у сусідні вузли. Ітераційний процес планування та реалізації замовлень здійснюється до того часу коли одна з копій замовлень надійде до «фінішного» вузла різномірної транспортної мережі. Після цього відбувається припинення процесу розмноження замовлень там «останов» алгоритму.

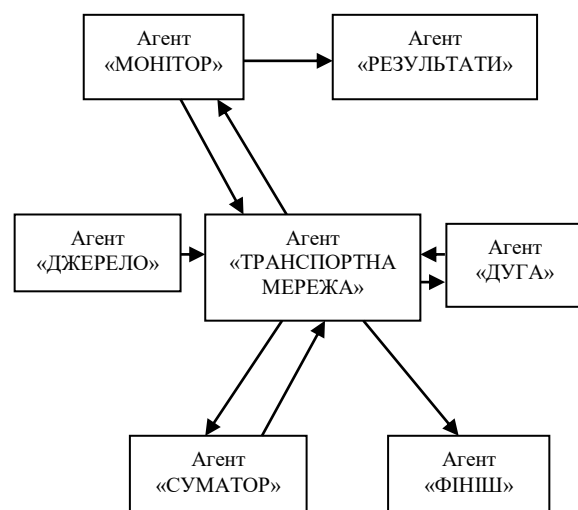


Рис. 1. Блок-схема агентної моделі

Розглянемо ілюстрований приклад використання пропонованого методу. Нехай, у різномірній транспортній мережі (рис. 2), яка складається із 6 вершин (транспортних вузлів) здійснюються доставка вантажу із 1-го вузла у 6-й вузол. Мережа містить наступні види транспортних компонентів:

AD – автомобільний транспорт;

AB – авіаційний транспорт;

M – морський транспорт;

P – річковий транспорт.

Кожна дуга графу різномірної транспортної мережі G відмічена значенням часу T перевезення (доба) та вартістю W перевезення (гривни).

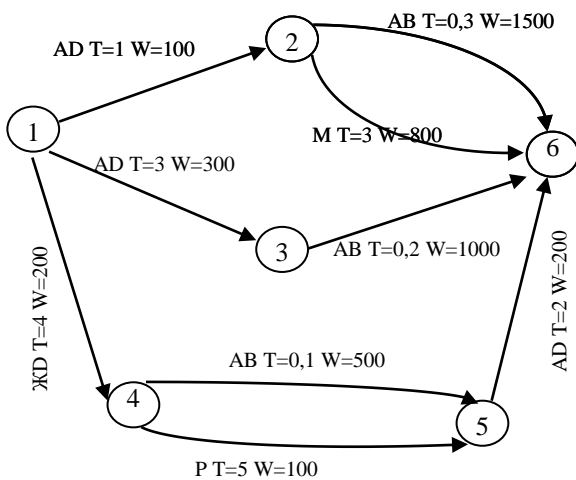


Рис. 2. Приклад різномірної транспортної мережі для доставки вантажів

Необхідно знайти оптимальний маршрут за часом, а потім за вартістю. Для пошуку оптимального маршруту із 1-го вузла розповсюджується фронт числової хвилі (у вигляді 3-х копій замовлень) та потрапляє до вершин 2, 3, 4. Далі із 2-ї вершини формується фронт із двох копій замовлень і потрапляє до 6-ї вершини. Із 3-ї вершини рухається тільки одне замовлення, яке потрапляє до 6-ї вершини. Із 4-ї вершини рухаються дві копії замовлень, які потрапляють до 5-ї вершини. Потім одне замовлення потрапляє до 6-ї вершини.

Характеристики числових хвиль наступні:

- 1AD2AB6 $T=1,3$; $W=1600$
- 1AD2M6 $T=4$; $W=900$
- 1AD3AB6 $T=3,2$; $W=1300$
- 1ЖД4AB5AD6 $T=6,1$; $W=900$
- 1ЖД4M5AD6 $T=11$; $W=500$.

У випадку пошуку маршруту з мінімальним часом, першою приходиться до 6-го фінішного вузла 1-а хвиля з часом доставки вантажу $T=1,3$ доби, інші хвилі відсікаються.

У випадку пошуку маршруту з мінімальною вартістю, першою приходиться до 6-го фінішного вузла 5-а хвиля з вартістю доставки вантажу 500 грн.

Нехай для пошуку компромісного рішення ваги показників будуть однакові ($\alpha_T = \alpha_W = 0,3$). В цьому випадку першою досягає 6-ї вершини друга числова хвиля з $T=4$ доби та $W=900$ грн.

Висновки

В роботі вирішується актуальне завдання, яке пов'язане з формуванням логістичних транспортних зв'язків у розподіленому віртуальному підприємстві при плануванні нових заказів. Враховується можливість функціонування віртуального підприємства в різномірній транспортній мережі, з допомогою якої забезпечується проходження матеріальних потоків для виконання виробничого замовлення з нового портфелю щодо випуску високотехнологічної продукції. Запропоновано оригінальний алгоритм пошуку раціональних маршрутів руху вантажів, заснований на формуванні та русі числових «хвиль» у різномірній транспортній мережі. Універсальність методу пов'язана з можливістю пошуку раціональних маршрутів, як за часом, так і за витратами й ризиками. Метод засновано на імітаційному подійному моделюванні, який реалізовано у вигляді агентної моделі. Управління ходом моделювання здійснює «монітор», який стежить за плануванням та реалізацією подій у різномірній транспортній мережі. Запропоновано метод пошуку раціональних маршрутів для компромісної оптимізації показників часу, витрат та ризиків. Викладений підхід доцільно використовувати на початкових етапах планування нових замовлень у розподіленому віртуальному виробництві, коли необхідно організувати логістичну транспортну інфраструктуру для реалізації руху матеріальних потоків у вигляді вантажів матеріалів, сировини та комплектуючих для випуску високотехнологічної продукції.

Література

1. Белл, Е. А. Віртуальні підприємства як елемент підвищення інноваційної активності та привабливості малого та середнього бізнесу [Текст] / Е. А. Белл // Вісник Хмельницького національного університету: Економічні науки. – 2009. – No. 1. – P. 162–166.
2. Uskenbayeva, R. K. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process [Text] / R. K. Uskenbayeva, B. K. Kurmangaliyeva, D. Yedilkhan // 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers

of Japan (SICE). – Hangzhou ; China, 2015. – P. 292–297. DOI: 10.1109/SICE.2015.7285573.

3 Lindgren, M. *Scenario Planning The link between future and strategy* [Text] / M. Lindgren, H. Bandhold. – Palgrave Macmillan UK, 2002. – 180 p. DOI: 10.1057/9780230511620.

4. Литвиненко, Д. Комплексний метод балансування та гармонізації інтересів стейкхолдерів у проектах розвитку транспортних систем [Текст] / Д. Литвиненко, О. Малєєва // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2019. – №3 (9). – С. 91-98. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.091.

5. *Managing the risks of information and communication network in the context of planning the security of critical infrastructure systems* [Text] / R. V. Artuch, V. V. Kosenko, O. V. Malyeyeva, E. V. Lesenko // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 22 Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – 2018. – № 2 (1278). – С. 22-30. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1278.4

6. Федорович, О. Е. Логистика выполнения портфеля заказов высокотехнологической продукции развивающегося виртуального предприятия [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2016. – № 3 (130). – С. 99-102.

7. Федорович, О. Е. Методы и модели исследования виртуальных производств, ориентированных на выпуск высокотехнологической продукции [Текст] / О. Е. Федорович, К. О. Западня, О. А. Гайденко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 1 (136). – С. 54–59.

8. Федорович, О. Е. Планирование грузоперевозок в условиях повышенных рисков [Текст] / О. Е. Федорович, О. А. Гайденко, В. А. Пуйденко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 6 (141). – С. 98-102.

9. Інформаційна підтримка прийняття рішень з управління закупівлями виробничого підприємства [Текст] / О. Малєєва, А. Єлізева, Н. Косенко, В. Невлюдова // *Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности*. – 2018. – № 3 (5). – С. 57-66. DOI: 10.30837/2522-9818.2018.5.057.

10. Roszak, M. T. *Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej* [Text] / M. T. Roszak // *Open Access Library*. – 2014. – Vol. 1 (31). – 150 p.

11. Pawluczuk, Ju. *К проблеме управления производственными ресурсами предприятия* [Текст] / Ju. Pawluczuk // *Zarządzanie : Teoria i praktyka*. – 2011. – № 1(3). – С. 17-26.

12. Кравец, Р. О. Динамічна координація стратегій мультиагентних систем [Текст] / Р. О. Кра-

вец // *Бюлетень Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2011. – No. 699. – P. 134–144.

13. Прохоров, А. В. *Агентное моделирование мультикластерных технологических комплексов нанoeлектронных производств* [Текст] / А. В. Прохоров, Ю. А. Кузнецова // *Радиоэлектроника, информатика, управление*. – 2016. – № 2. – С. 20-28.

14. Прохоров, А. В. *Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению региональными ресурсами* [Текст] / А. В. Прохоров, А. О. Матюшко // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2015. – № 1 (71). – С. 110 – 114.

15. Клыков, Ю. Н. *Ситуационное управление большими системами* [Текст] / Ю. Н. Клыков. – М. : Энергия, 1974. – 136 p.

References

1. Ball, E. A. Virtual'ni pidpryyemstva yak element pidvyshchennya innovatsiynoyi aktyvnosti ta pryvablyvosti maloho ta seredn'oho biznesu [Virtual enterprises as an element of enhancement of innovation activity and attractiveness of small and medium business]. *Visnyk Khmelnytsky National University : Economic Sciences*, 2009, no. 1, pp. 162-166.

2. Uskenbayeva, R. K., Kurmangaliyeva, B. K., Yedilkhan, D. *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, 2015, pp. 292-297. DOI: 10.1109/SICE.2015.7285573.

3. Lindgren, M., Bandhold, H. *Scenario Planning The link between future and strategy*. Palgrave Macmillan UK, 2002. 180 p. DOI: 10.1057/9780230511620.

4. Litvinenko, D., Malyeyeva, O. *Kompleksnyy metod balansuvannya ta harmonizatsiyi interesiv steykholderiv u proektakh rozvytku transportnykh system* [A comprehensive method of balancing and harmonizing the interests of stakeholders in transport systems development projects]. *Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen' ta tekhnolohiy v promislovosti*, 2019, no. 3 (9), pp. 91-98. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.091.

5. Artuch, R. V., Kosenko, V. V., Malyeyeva, O. V., Lesenko, E. V. *Managing the risks of information and communication network in the context of planning the security of critical infrastructure systems*. *Bulletin of the National Technical University "KPI"*, 2018, no. 2 (1278), pp. 22-30.

6. Fedorovich, O. E., Pronchakov, Yu. L. *Logistika vypolneniya portfelya zakazov vysoko-tekhnologicheskoi produktsii razvivayushchegosya virtual'nogo predpriyatiya* [Logistics of high-tech product orders stock execution for the growing virtual enterprise]. *Avi-*

acijnno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology, 2016, no. 3 (130), pp. 99-102.

7. Fedorovich, O. E., Zapadnya, K. O., Gaidenko, O. A. Metody i modeli issledovaniya virtual'nykh, orientirovannykh na vypusk vysokotekhnologicheskoi produktsii [Methods and models to research the virtual manufactures oriented on the issue of high-tech products]. *Aviacijnno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2017, no. 1 (136), pp. 54-59.

8. Fedorovich, O. Ye., Gaydenko, O. A., Puydenko, V. A. Planuvannya vantazhoperevezen' v umovakh pidvyshchenykh ryzykiv [Planning of cargo transportation in conditions of increased risks]. *Aviacijnno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2017, no. 6 (141), pp. 98-102.

9. Malyeyeva, O., Yelizeva A., Kosenko, N., Nevludova V. Informatsiyna pidtrymka pryynyattya rishen' z upravlinnya zakupivlyami vyrobnychoho pidpryyemstva [Information support for decision-making on the procurement of production enterprise]. *Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen' i tekhnolohiy v promyslovosti*, 2018, no. 3 (5), pp. 57-66.

10. Roszak, M. T. Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej. *Open Access Library*, 2014, vol. 1 (31). 150 p.

11. Pawluczuk, Ju. K probleme upravleniya proizvodstvennymi resursami predpriyatiya [To the problem of enterprise productive resources management]. *Zarządzanie : Teoria i praktyka*, 2011, no. 1 (3), pp. 17-26.

12. 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.

13. Prokhorov, A. V., Kuznetsova, Yu. A. Ahentne modelyuvannya mul'tiklasternykh tekhnolohichnykh kompleksiv nanoelektronnykh vyrobnytstv [Agent modeling of multicluster technological complexes of nanoelectronic productions]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnya*. – 2016. – №2. – С.20-28.

14. Prokhorov, A. V., Matushko, A. O. Intel'ektual'na systema pidtrymky pryynyattya rishen' z upravlinnya rehional'nymy resursamy [Intelligent decision support system for regional resource management]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2015, no. 1 (71), pp. 110-114.

15. Klykov, Yu. I. *Situacionnoe upravlenie bol'shimi sistemami* [Situational management of large systems]. Moscow, Energy, 1974. 136 p.

Поступила в редакцию 24.03.2020, рассмотрена на редколлегии 15.04.2020

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ НОВОГО ПОРТФЕЛЯ ЗАКАЗОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВИРТУАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков

Предметом исследования в статье является организация логистических взаимодействий в распределенном виртуальном производстве высокотехнологической продукции. Целью работы является разработка метода поиска рациональных маршрутов в разнородной транспортной сети с учетом времени (сроков), затрат и рисков. В статье решаются следующие задачи: исследование логистических взаимодействий в распределенном виртуальном производстве высокотехнологичной продукции (авиастроение, автомобилестроение и др.). Логистические взаимодействия осуществляются в разнородной транспортной сети, которая связывает отдельные технологические процессы высокотехнологичного производства. Анализируются особенности логистики, связанные с виртуализацией производства при формировании нового портфеля заказов. Определяются поставщики материалов, сырья, комплектующих, которые расположены в узлах, и которые являются источником грузов, транспортируемых в распределенном виртуальном производстве. Для оценки возможных маршрутов движения грузов в разнородной транспортной сети были введены показатели времени (сроки доставки грузов), затраты на перевозку и риски. Целенаправленный поиск рациональных маршрутов движения осуществляется с помощью предложенного алгоритма генерирования и движения числовых «волн» в разнородной транспортной сети. Построена имитационная модель, с помощью которой моделируется процесс распространения числовой «волны» посредством планирования и реализации событий, связанных с поступлением грузов, перевозимых в узлы разнородной транспортной сети. Разработан алгоритм моделирования движения заявок к соседним узлам по отношению к узлу рассматриваемой разнородной транспортной сети. Учтены тупиковые вершины и возможные параллельные пути равных типов транспортировки, объединяющих соседние вершины. Построенный алгоритм включает две фазы моделирования: достижение «финишного» узла, и обратная фаза, связанная с определением маршрута движения. Алгоритм поиска является универсальным и позволяет находить маршруты с минимальным временем движения грузов, затратами и рисками. Предложен поиск компромиссного маршрута, который удовлетворяет противоречивым критериям времени, затрат и рисков. Метод поиска рациональных маршрутов оформлен в виде агентной имитационной модели. В статье используются следующие методы: системный анализ для формирования

топологии структуры разнородной транспортной сети; теория графов для представления потоков и маршрутов движения грузов; имитационное моделирование для генерирования и движения числовых «волн»; оптимизация маршрутов, основанная на имитационном моделировании; многокритериальная оптимизация для поиска рациональных маршрутов; агентное моделирование для формирования маршрутов движения в разнородной транспортной сети. Выводы: предложенный метод поиска рациональных маршрутов распределенного виртуального производства позволяет на начальных этапах планирования нового портфеля заказов, организовывать логистические транспортные взаимодействия в распределенной виртуальном производстве.

Ключевые слова: распределенное виртуальное производство; формирование логистических взаимодействий в производственной системе; агентное моделирование движения числовых «волн»; поиск рациональных маршрутов движения грузов в разнородной транспортной сети.

METHOD TO ORGANIZE LOGISTIC TRANSPORT INTERACTIONS FOR THE NEW ORDER PORTFOLIO OF DISTRIBUTED VIRTUAL MANUFACTURE

O. Fedorovich, Yu. Pronchakov

The subject of research in the paper is to organize the logistics of interactions in a distributed virtual manufacture of high-tech products. The work aims to develop the method to find rational routes in the heterogeneous transport network, considering the time (deadlines), costs, and risks. The article addresses the following tasks: research of logistics interactions across the virtual manufacture of high-tech products (aircraft, automotive, etc.). Logistic interactions are carried out in a heterogeneous transport network that connects individual technological processes of high-tech manufacture. The features of logistics related to the virtualization of manufacture in the form of the new portfolio of orders are analyzed. The suppliers of materials, raw materials, and components that are located in the nodes of the heterogeneous transport network and which are the sources of goods transported in the distributed virtual manufacture are determined. To assess the possible routes of goods transportation in the heterogeneous transport network the values of time (deadlines of goods delivery), as well as freight costs and risks, are considered. The purposeful search for rational routes is carried out using the proposed algorithm for generating and moving numerical "waves" in a heterogeneous transport network. The simulation model to simulate the process of numerical "wave" propagation using planning and implementing of events related to the arrival of goods transported to the nodes of the heterogeneous transport network has been built. The algorithm to simulate the flow of requests in neighboring nodes concerning the node of the considered heterogeneous transport network has been developed. The dead-end nodes and possible parallel paths of equal types of transportation combining neighboring nodes are considered. The built algorithm includes two different phases of simulation: to achieve the "final" node and the inverse phase that is to define the route. The search algorithm is universal and makes it possible to find the routes with minimal time of goods transportation, minimal costs, and risks. The search for a compromise route that satisfies the conflicting criteria of time, cost, and risk has been proposed. The method of rational routes search is designed in the form of the agent simulation model. The following methods are used in the article: system analysis to create the topology of heterogeneous transport network structure; graph theory to represent the flows and routes of goods transportation; simulation to generate and move numerical "waves"; route optimization based on simulation; multi-criteria optimization to find the rational route; agent-oriented simulation to create the routes in the heterogeneous transport network. Conclusions: the proposed method to find the rational routes in a heterogeneous transport network of distributed virtual manufacture allows organizing the logistics transport interactions in distributed virtual production at the initial stages of planning of the new portfolio of orders.

Keywords: distributed virtual manufacture; making of logistic interactions in the production system; agent-oriented simulation to move numerical "waves"; search for rational routes of goods transportation in the heterogeneous transport network.

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.

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 Author ID: 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.