

УДК 65.012.123

О. Е. ФЕДОРОВИЧ, Ю. Л. ПРОНЧАКОВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

ЛОГИСТИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОРТФЕЛЯ ЗАКАЗОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ставится и решается задача организации виртуального производственного предприятия (ВП) с учетом состава формируемого портфеля заказов высокотехнологической продукции. Логистика создания высокотехнологической продукции ВП исследуется на этапах: формирование портфеля заказов, подготовка производства, производство и реализация продукции. Обосновывается выбор производственных мощностей с использованием лексикографического упорядочивания вариантов и целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Для уточнения сроков реализации портфеля заказов используется агентное имитационное моделирование.

Ключевые слова: виртуальное производство, выбор производственных мощностей, лексикографическое упорядочивание вариантов, многокритериальная оптимизация, агентное имитационное моделирование.

Введение

В настоящее время требование реагирования на изменение потребностей рынка заставляет искать новые способы организации высокотехнологического производства. Виртуальное предприятие позволяет использовать (арендовать) производственные мощности тех предприятий, которые в настоящее время испытывают дефицит в заказах и простаивают из-за сложных экономических условий в Украине. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой ставится и решается задача организации виртуального предприятия с учетом логистики жизненного цикла сложной продукции машиностроения, к которой относится производство аэрокосмической техники [1].

Постановка задачи исследования

Предлагаемую задачу исследования разобьем на три основных этапа. На первом этапе сформируем портфель заказов виртуального предприятия с учетом оценок экспертов и прогнозов по тенденциям развития рынка аэрокосмической техники (например, производство беспилотных летательных аппаратов) [2]. На втором этапе проведем формирование и рациональный выбор производственных мощностей, которые необходимо использовать для реализации будущего портфеля заказов. На третьем этапе будем использовать имитационное моделирование для исследования логистики жизненного цикла производимой продукции с учетом сформированного портфеля заказов.

Решение задачи исследования

Логистику жизненного цикла (ЖЦ) выпускаемой высокотехнологической продукции виртуального предприятия (ВП) разобьем на следующие основные этапы:

- формирование портфеля заказов;
- подготовка производства;
- производство;
- реализация продукции.

Формирование портфеля заказов будем осуществлять с учетом оценок экспертов и руководства виртуального предприятия на основе следующих основных показателей [3]:

- К – конкурентоспособность изделия;
- Z – затраты на организацию производства;
- T – время на подготовку производства;
- R – риски, связанные с организацией производства.

Так как на первоначальном этапе функционирования ВП существует большое количество неопределенных факторов воспользуемся для формирования портфеля заказов ВП качественными лингвистическими оценками экспертов по перечисленным прогнозируемым показателям:

$$K = \begin{cases} A - \text{высокая конкурентоспособность,} \\ B - \text{удовлетворительная} \\ \quad \text{конкурентоспособность,} \\ C - \text{низкая конкурентоспособность.} \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} A - \text{низкие (минимальные) затраты,} \\ B - \text{удовлетворительные затраты,} \\ C - \text{большие затраты.} \end{cases}$$

$$T = \begin{cases} A - \text{короткие (минимальные) сроки,} \\ B - \text{удовлетворительные сроки,} \\ C - \text{длительные сроки.} \end{cases}$$

$$R = \begin{cases} A - \text{минимальные риски,} \\ B - \text{удовлетворительные риски,} \\ C - \text{большие риски.} \end{cases}$$

Каждый возможный заказ Q_i из портфеля заказов ВП оценим по степени важности и сформируем приоритетный ряд, вначале которого находится наиболее актуальный заказ для ВП (например, имеющий наибольшую прибыль), а в конце менее важный (фоновый) заказ:

$$Q_1, Q_2, \dots, Q_m.$$

Оценим каждый заказ в виде «слова» значений показателей K, Z, T, R , в котором показатели расположены в порядке их важности.

Пусть для каждого Q_i заказа возможно множество альтернатив N_i по выбору производственных мощностей для организации высокотехнологического производства.

Учитывая противоречивость показателей K, Z, T, R для обоснования конкретного состава производств ВП, которые будут участвовать в реализации Q_i заказа, воспользуемся лексикографическим упорядочиванием и сравнением «слов» значений показателей.

Пример. Пусть $N_1 = 5$. Каждый возможный вариант производства оценим экспертами с помощью качественных переменных в виде значений A, B, C по всем показателям K, Z, T, R :

1. B, B, B, A
2. A, C, C, C
3. B, A, B, B
4. C, A, A, A
5. B, A, A, B.

Упорядочим множество возможных составов производств ВП представленных в виде «слов» с учетом значений показателей. Получим:

2. A, C, C, C
5. B, A, A, B
3. B, A, B, B
1. B, B, B, A
4. C, A, A, A.

Отбросим варианты с наихудшими значениями (С) показателей K, Z, T, R . В результате получим:

5. B, A, A, B
3. B, A, B, B
1. B, B, B, A.

Отсюда видно, что для заказа Q_1 целесообразно сделать выбор состава производств, учитывая возможности ВП, среди вариантов 5, 3, 1. Из них 5-й вариант является самым лучшим.

В случае большого количества возможных вариантов выбора производств для выполнения портфеля заказов ВП, воспользуемся методом целочисленного линейного программирования (ЦЛП) с булевыми переменными x_{ij} , где i – соответствует номеру заказа, j – возможному производству выбираемого для организации выполнения заказа. Тогда показатели для оценки выполнения портфеля заказов ВП будут иметь следующий вид:

$$K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} k_{ij},$$

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} z_{ij},$$

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} t_{ij},$$

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} r_{ij},$$

где $x_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если для } i\text{-го заказа} \\ \text{выбрано } j\text{-е производство,} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$

$$\sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} = 1, \text{ что означает обязательный выбор для}$$

выполнения i -го заказа одного j -го производства;

k_{ij} – количественная оценка экспертами (например, в баллах) конкурентоспособности j -го производства для выполнения i -го заказа;

z_{ij} – количественная оценка затрат для организации (адаптации) j -го производства для выполнения i -го заказа;

t_{ij} – количественная оценка времени подготовки j -го производства для выполнения i -го заказа;

r_{ij} – риски, связанные с включением j -го производства для выполнения i -го заказа.

Возможны следующие постановки задачи оптимизации, с учетом множества альтернативных вариантов выбора производственных мощностей, для выполнения портфеля заказов ВП.

1. Оптимизация отдельных показателей ВП.

Необходимо максимизировать показатель конкурентоспособности:

$$\max K, K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} k_{ij},$$

с учетом выполнения следующих ограничений:

$$Z \leq Z', Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} z_{ij},$$

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} t_{ij},$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} r_{ij},$$

где K', Z', T', R' – допустимые значения показателей K, Z, T, R .

Остальные показатели (Z, T, R) можно оптимизировать таким же образом, с учетом выполнения ограничений K', Z', T', R' :

$$\min Z, \text{ при условии } K \geq K', T \leq T', R \leq R';$$

$$\min T, \text{ при условии } K \geq K', Z \leq Z', R \leq R';$$

$$\min R, \text{ при условии } K \geq K', Z \leq Z', T \leq T'.$$

2. Многокритериальная оптимизация.

В этом случае, учитывая противоречивость показателей, необходимо ввести комплексный показатель W . Пусть он будет сформирован в виде простейшей аддитивной свертки (сумма взвешенных показателей):

$$W = \alpha_K \hat{K} + \alpha_Z \hat{Z} + \alpha_T \hat{T} + \alpha_R \hat{R},$$

где $\sum_{e=1}^4 \alpha_e = 1$, α_e – задается в виде «веса» e -го показателя экспертами с учетом требований руководства ВП.

$$\hat{K} = \frac{K^* - K}{K^* - K'}, \hat{Z} = \frac{Z - Z^*}{Z' - Z^*},$$

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

Необходимо минимизировать W :

$$\min W,$$

$$W = \alpha_K \frac{K^* - K}{K^* - K'} + \alpha_Z \frac{Z - Z^*}{Z' - Z^*} +$$

$$+ \alpha_T \frac{T - T^*}{T' - T^*} + \alpha_R \frac{R - R^*}{R' - R^*} =$$

$$= -\frac{\alpha_K}{K^* - K'} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} k_{ij} + \frac{\alpha_Z}{Z' - Z^*} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} z_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_T}{T' - T^*} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} t_{ij} + \frac{\alpha_R}{R' - R^*} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} r_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_K K^*}{K^* - K'} - \frac{\alpha_Z Z^*}{Z' - Z^*} - \frac{\alpha_T T^*}{T' - T^*} - \frac{\alpha_R R^*}{R' - R^*}.$$

При выполнении ограничений:

$$K \geq K', Z \leq Z', T \leq T', R \leq R'.$$

Для имитационного моделирования выполнения портфеля заказов ВП воспользуемся агентным моделированием. Сформируем множество агентов:

AZ – агент, который формирует портфель заказов;

AP – агент, который имитирует подготовку производства для выполнения конкретного заказа;

APR – агент, который имитирует производственный цикл для выполнения конкретного заказа;

AR – агент, который имитирует логистику реализации продукции после выполнения конкретного заказа;

AD – агент-диспетчер, который учитывает приоритетность заказов (формирует очередь) при их выполнении;

AS – системный агент моделирования (отвечает за список событий в системе имитационного моделирования и за системное время моделирования).

ARM – агент, который формирует и выдает результаты имитационного моделирования выполнения портфеля заказов ВП.

На рис. 1 представлена блок-схема имитационного моделирования с учетом вышеперечисленного множества агентов.

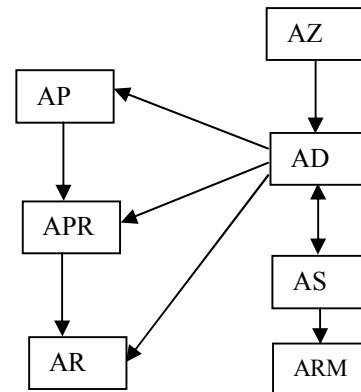


Рис. 1. Блок-схема имитационного моделирования выполнения портфеля заказов ВП

Агентное моделирование позволяет более точно оценить временные затраты на подготовку производства, а также сроки реализации продукции заказчиком ВП.

Выводы

Предложенный подход целесообразно использовать в задачах формирования и оценки портфеля заказов виртуального предприятия, выпускающего сложную аэрокосмическую технику, когда необходимо обосновать выбор и аренду производственных мощностей, оценить сроки подготовки производства, а также учесть возможные риски выполнения портфеля заказов.

Литература

1. *Геопространственные производственные системы. Часть 1. Анализ, моделирование, проектирование: моногр. [Текст] / В. М. Илюшко, О. Е. Федорович, О. Н. Замирец, Л. Д. Греков. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 250 с.*
2. *Прончаков, Ю. Л. Обоснование и выбор на-*

правления развития предприятия для улучшения качества выпускаемой продукции [Текст] / Ю. Л. Прончаков, Ю. А. Лещенко // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи.* – 2015. – № 3 (73). – С. 96 – 100

3. Прончаков, Ю. Л. Обеспечение требований качества производства высокотехнологической продукции в проектах модернизации развивающегося предприятия [Текст] / Ю. Л. Прончаков, Ю. А. Лещенко // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2015. – № 5 (122). – С. 92 – 98

References

1. Ylyushko, V. M., Fedorovich, O. Ye., Zamyrets, O. N., Hrekov, L. D. *Неопространственные производственные системы. Част' 1. Аналіз, моделювання, проєктування.* [Geospatial production systems.

Part 1: Analysis, modeling, design]. Kharkov, Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. avyats. un-t», 2011. 250 p.

2. Pronchakov, Yu. L., Leshchenko, Yu. A. Obosnovanye y viber napravlenyya razvytyya predpnyatyya dlya uluchshenyya kachestva vipuskaemoy produktsyy [Rationale and choosing the direction of enterprises to improve the quality of products]. *Radioelektronni i komp'yuterni systemy – Radioelectronic and computer systems*, 2015, no. 3 (73), pp. 96 – 100.

3. Pronchakov, Yu. L., Leshchenko, Yu. A. Obespechenye trebovaniy kachestva proyzvodstva visokotekhnolohycheskoy produktsyy v proektakh modernyzatsyy razvyvayushchegosya predpnyatyya [Quality assurance requirements in the creation of growing enterprises]. *Avyatsyonno-kosmycheskaya tekhnika y tekhnolohyya – Aerospace technic and technology*, 2015, no. 5 (122), pp. 92 – 98.

Поступила в редакцію 20.04.2016, рассмотрена на редколлегии 12.05.2016

ЛОГІСТИКА ВИКОНАННЯ ПОРТФЕЛЯ ЗАМОВЛЕНЬ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА, ЩО РОЗВИВАЄТЬСЯ

О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков

Ставиться й вирішується задача організації віртуального виробничого підприємства (ВП) з урахуванням складу формованого портфеля замовлень високотехнологічної продукції. Логістика створення високотехнологічної продукції ВП досліджується на етапах: формування портфеля замовлень, підготовка виробництва, виробництво й реалізація продукції. Обґрунтовується вибір виробничих потужностей з використанням лексикографічного впорядкування варіантів та цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними. Для уточнення строків реалізації портфеля замовлень використовується агентне імітаційне моделювання.

Ключові слова: віртуальне виробництво, вибір виробничих потужностей, лексикографічне впорядкування варіантів, багатокритеріальна оптимізація, агентне імітаційне моделювання.

LOGISTICS OF HIGH-TECH PRODUCT ORDERS STOCK EXECUTION FOR THE GROWING VIRTUAL ENTERPRISE

O. Ye. Fedorovich, Yu. L. Pronchakov

The problem of how to arrange the virtual manufacturing enterprise (ME) considering the high-tech product orders stock is stated and solved. Logistics of ME high-tech products is researched at the following stages: orders stock creation, preparation of manufacture, manufacture and sales of products. The required production capacity is justified on the basis of lexicographical ordering concept and integer linear programming with Boolean variables. In order to specify the terms of orders stock implementation the agent-based simulation is used.

Key words: virtual production, production capacity selection, lexicographical ordering concept, multi-criteria optimization, agent-based simulation.

Федорович Олег Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: kafius@ukr.net.

Прончаков Юрий Леонидович – канд. техн. наук, доцент кафедры производства радиоэлектронных систем ЛА, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Fedorovich Oleg Yevgenevich - Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of Information Management Systems Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: kafius@ukr.net.

Pronchakov Yuri Leonidovich - PhD, Associate Professor, Department of Production of Radio-Electronic Systems of the Aircraft, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine.