

УДК 65.012.123

О. Е. ФЕДОРОВИЧ, М. В. ИВАНОВ, Ю. А. ЛЕЩЕНКО*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***АНАЛИЗ И МИНИМИЗАЦИЯ УЗКИХ МЕСТ В ЛОГИСТИКЕ УПРАВЛЕНИЯ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ**

Ставится и решается задача анализа возможных «узких» мест (УМ) при формировании жизненного цикла (ЖЦ) сложного изделия на стадии планирования проекта по созданию нового конкурентоспособного продукта. Для определения критических УМ используются лингвистические представления и лексикографическое упорядочивание. Оцениваются ресурсы и риски для уменьшения количества УМ. Для минимизации (нейтрализации) влияния УМ на основные показатели ЖЦ используется метод целочисленной многокритериальной оптимизации. Окончательная оценка влияния УМ на основные показатели ЖЦ осуществляется с использованием агентного имитационного моделирования.

Ключевые слова: *жизненный цикл сложной техники, логистический анализ «узких» мест жизненного цикла, лексикографическое упорядочивание вариантов, минимизация «узких» мест, агентное имитационное моделирование.*

Введение

Создание современной сложной техники (СТ) (авиастроение, автомобилестроение, судостроение и т.д.) связано с длительным жизненным циклом (ЖЦ) изделия (НИОКР, подготовка производства, производство, эксплуатация, модернизация, утилизация) [1, 2]. Реализуемость проектов по созданию СТ связана с возможными «узкими» местами, которые могут возникать на отдельных этапах ЖЦ. Под «узким» местом ЖЦ в данной публикации понимается место на отдельном этапе ЖЦ, которое связано с возможным и достаточно сильным ухудшением значений основных логистических показателей (финансовые расходы, время, качество, риски), что влияет на реализуемость ЖЦ, а также на итоговые показатели продукции (затраты, качества изделия, сроки, конкурентоспособность) [3, 4]. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой рассматривается и решается задача выявления, моделирования и минимизации «узких» мест ЖЦ на стадии формирования проекта по созданию новой техники.

Постановка задачи исследования

Проведенный анализ и исследование типовых ЖЦ при создании СТ показал, что для решения предложенной задачи необходимо пройти ряд этапов:

1. Анализ и выявление «узких» мест ЖЦ на стадии формирования проекта.
2. Исследование «узких» мест с целью их сокращения.
3. Возможная нейтрализация влияния оставшихся (неустраненных) «узких» мест.

4. Моделирование ЖЦ с «узкими» местами для прогнозирования и уточнения значений итоговых показателей СТ.

Решение задачи исследования

Рассмотрим подробнее каждый из этапов и предложим методы и модели решения поставленной задачи.

На первом этапе для определения «узких» мест ЖЦ предлагается провести экспертное оценивание. На первом шаге формируется группа экспертов, которая разбивается на подгруппы в соответствии с этапами ЖЦ (НИОКР, подготовка производства, производство, эксплуатация, утилизация). Методом «мозгового штурма» формируется множество M_i потенциально «узких» мест i -го этапа. Далее эксперты оценивают важность логистических показателей для i -го этапа ЖЦ (P_i – расходы, T_i – время, K_i – качество, R_i – риски) и располагают их в ряд с учетом их важности. Например, для НИОКР, учитывая специфику этого этапа, получим:

$$R_i, T_i, P_i, K_i. \quad (1)$$

Для каждого j -го «узкого» места, учитывая большую начальную неопределенность, связанную с формированием нового проекта, проводим качественное оценивание влияния «узкого» места на основные показатели продукта. Для сглаживания возможных противоречивых оценок экспертов, можно воспользоваться, например, методом Электра. Представим качественные оценки экспертов в виде букв латинского алфавита (A – очень сильное влияние, B

– сильное влияние, С – слабое влияние, D – влияние присутствует, E – влияние отсутствует). Тогда каждое «узкое» место можно оценить вектором с проекциями в виде качественных оценок влияния на основные показатели i-го этапа. Представим вектор в виде «слова», где первая буква соответствует самому важному показателю i-го этапа ЖЦ, а последняя – наименее важному. Например, пусть для этапа НИОКР выявлено пять «узких» мест и получены качественные оценки для них в соответствии с рядом показателей (1):

- 1-е «узкое» место $B_{11}, C_{12}, B_{11}, D_{11}$
- 2-е «узкое» место $A_{12}, B_{12}, D_{12}, B_{12}$
- 3-е «узкое» место $D_{13}, C_{13}, C_{13}, B_{13}$ (2)
- 4-е «узкое» место $C_{14}, D_{14}, B_{14}, D_{14}$
- 5-е «узкое» место $B_{15}, A_{15}, D_{15}, A_{15}$.

Для дальнейшего исследования «узких» мест необходимо оценить их критичность, которую можно получить после лексикографического упорядочивания множества «слов» (2). Получим:

- $A_{12}, B_{12}, D_{12}, B_{12}$
- $B_{15}, A_{15}, D_{15}, A_{15}$
- $B_{11}, C_{11}, B_{11}, D_{11}$ (3)
- $C_{14}, D_{14}, B_{14}, D_{14}$
- $D_{13}, C_{13}, C_{13}, B_{13}$.

Поэтому дальнейшее исследование «узких» мест целесообразно проводить в порядке критичности:

2, 5, 1, 4, 3.

Сокращение «узких» мест проекта требует дополнительных ресурсов (V), времени (W) и имеет возможные риски (P), которые могут возникнуть при выполнении проекта. Поэтому для оптимизации этих дополнительных расходов воспользуемся методом целочисленного линейного программирования. Введем булеву переменную $x_{ij} \in \{1; 0\}$, где $x_{ij} = 1$ соответствует тому, что на i-м этапе ЖЦ будет устранено j-е «узкое» место (на это потрачены v_{ij} ресурсы, w_{ij} время с риском p_{ij}); $x_{ij} = 0$ соответствует тому, что на i-м этапе j-е «узкое» место осталось. Тогда для оптимизации расходов, связанных с устранением «узких» мест, необходимо провести минимизацию показателей:

$$\begin{aligned} V &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} v_{ij}, \\ W &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} w_{ij}, \\ P &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} p_{ij}. \end{aligned} \quad (4)$$

Задачу оптимизации дополнительных расходов решим в два этапа: минимизацию отдельных (локальных) показателей (V, W, P), многокритериальной оптимизации. Для минимизации показателей V, W, P введем ограничения V', W', P' . Тогда оптимизация локальных показателей, связана с введением целевых функций и ограничений:

$$\begin{aligned} \min V, V &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} v_{ij}, \quad W \leq W', P \leq P', \\ \min W, W &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} w_{ij}, \quad V \leq V', P \leq P', \\ \min P, P &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} p_{ij}, \quad V \leq V', W \leq W'. \end{aligned} \quad (5)$$

Для проведения многокритериальной оптимизации дополнительных расходов, связанных с сокращением «узких» мест в ЖЦ, введем комплексный критерий $K = \alpha_V \cdot \hat{V} + \alpha_W \cdot \hat{W} + \alpha_P \cdot \hat{P}$, где $\alpha_V, \alpha_W, \alpha_P$ – «весовые» коэффициенты, задаваемые экспертами, которые указывают на значимость отдельных критериев:

$$\begin{aligned} \alpha_V + \alpha_W + \alpha_P &= 1, \\ \hat{V} &= \frac{V - V^*}{V' - V^*}, \\ \hat{W} &= \frac{W - W^*}{W' - W^*}, \\ \hat{P} &= \frac{P - P^*}{P' - P^*}, \end{aligned} \quad (6)$$

где V^*, W^*, P^* – минимальные значения критериев, полученные в результате оптимизации на первом этапе.

Необходимо минимизировать:

$$\min K; K = \alpha_V \frac{V - V^*}{V' - V^*} + \alpha_W \frac{W - W^*}{W' - W^*} + \alpha_P \frac{P - P^*}{P' - P^*} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\alpha_V}{V' - V^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} v_{ij} + \frac{\alpha_W}{W' - W^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} w_{ij} + \\
 &+ \frac{\alpha_P}{P' - P^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} p_{ij} - \frac{\alpha_V \cdot V^*}{V' - V^*} - \frac{\alpha_W \cdot W^*}{W' - W^*} - \frac{\alpha_P \cdot P^*}{P' - P^*}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Для минимизации влияния, на основе показателей продукта оставшихся «узких» мест, с помощью экспертов, оценим возможные варианты нейтрализации (уменьшение влияния). Введем целочисленную переменную x_{ije} , где i , как и ранее, указывает на этап, j – на «узкое» место, e – возможный вариант нейтрализации «узкого» места, $x_{ije} \in \{1; 0\}$, где 1 – соответствует принятию e -го варианта в качестве нейтрализации ij -го «узкого» места, 0 – в противном случае. При этом:

$$\sum_e x_{ije} = 1,$$

что означает выбор одного (конкретного) варианта для нейтрализации «узкого» места. Тогда критерии, связанные с минимизацией дополнительных расходов при нейтрализации «узких» мест, с учетом x_{ije} , будут иметь следующий вид:

$$V = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} v_{ije},$$

$$W = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} w_{ije},$$

$$P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} p_{ije}.$$

Как и в предыдущей постановке задачи оптимизации расходов, решение осуществимо в два этапа:

1. Минимизация отдельных (локальных) критериев:

$$\min V = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} v_{ije}, \quad W \leq W', P \leq P';$$

$$\min W = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} w_{ije}, \quad V \leq V', P \leq P';$$

$$\min P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ije} p_{ije}, \quad V \leq V', W \leq W'.$$

2. Многокритериальная оптимизация. Необходимо минимизировать комплексный критерий:

$$K = \alpha_V \cdot \widehat{V} + \alpha_W \cdot \widehat{W} + \alpha_P \cdot \widehat{P} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\alpha_V}{V' - V^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ij} v_{ij} + \frac{\alpha_W}{W' - W^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ij} w_{ij} + \\
 &+ \frac{\alpha_P}{P' - P^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{e=1}^{N_{ij}} x_{ij} p_{ij} - \frac{\alpha_V \cdot V^*}{V' - V^*} - \frac{\alpha_W \cdot W^*}{W' - W^*} - \frac{\alpha_P \cdot P^*}{P' - P^*}.
 \end{aligned}$$

Для моделирования материальных потоков (МП) в логистике ЖЦ на всех этапах создания СТ воспользуемся методом агентного моделирования. В состав имитационного моделирования ЖЦ вошли следующие агенты (рис. 1).

ЭТАПЫ ЖЦ



Рис. 1. Структура имитационной агентной модели

1. Агент «описание этапа ЖЦ».

2. Агент «источник МП». Отвечает за формирование МП на этапах выполнения ЖЦ. Может генерировать заявки детерминировано и случайно (с учетом начальной неопределенности) по заданному закону распределения вероятности.

3. Агент «временная задержка МП». Служит для имитации времени движения МП. Временная задержка используется для имитации выполнения логистических операций транспортировки.

4. Агент «активность МП». Служит для имитации активности, связанной с обработкой МП (производство).

5. Агент «пассивность МП». Служит для имитации задержки (останова) МП (складирование, ожидание в очереди и т.п.).

6. Агент «узкое» место. Служит для имитации негативных последствий «узкого» места (задержка на неопределенный или срок больше запланированного, риск останова МП, появление брака и т.п.).

7. Агент «диспетчер». Служит для управления агентами, а также осуществляет отчет системного времени в событийном имитационном моделировании, формирует и реализует список будущих бли-

жайших событий.

8. Агент «статистика». Служит для сбора статистических данных и выдачи результатов моделирования (значения основных логистических показателей и т.п.).

Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать на начальном этапе формирования проекта по созданию новой сложной техники, когда необходимо осуществить прогнозирование и планирование жизненного цикла изделия.

Литература

1. Федорович, О. Е. Логистические модели управления производством [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, О. Н. Замирец, А. В. Попов. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 218 с.

2. Outlook on the Logistics & Supply Chain Industry 2013 [Electronic resource] // Global Agenda Council on Logistics & Supply Chain Systems 2012-2014. – Mode of access: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC_LogisticsSupplyChainSystems_Outlook_2013.pdf. – 4.11.2014.

3. Илюшко, В. М. Геопространственные производственные системы. Часть 2. Размещение на земной поверхности, оптимизация магистральных систем, космический мониторинг [Текст] : моногр. / В. М. Илюшко, О. Е. Федорович, Л. Д. Греков. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – 206 с.

4. Barcik, R. A. The Significance of Customer Service in Logistics [Electronic resource] / R. A. Barcik, M. B. Jakubiec // Logistics and Transport. – 2013. – Vol. 17, № 1. – P. 5–10. – Mode of access: <http://logistics-and-transport.eu/index.php/main/article/view/236/239>. – 4.11.2014.

Поступила в редакцию 4.11.2014, рассмотрена на редколлегии 18.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., профессор кафедры программной инженерии И. В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ ТА МІНІМІЗАЦІЯ ВУЗЬКИХ МІСЦЬ В ЛОГІСТИЦІ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ

О. Є. Федорович, М. В. Иванов, Ю. О. Лещенко

Ставиться й вирішується задача аналізу можливих «вузьких» місць (ВМ) при формуванні життєвого циклу (ЖЦ) складного виробу на стадії планування проекту зі створення нового конкурентоспроможного продукту. Для визначення критичних ВМ використовуються лінгвістичні подання й лексикографічне упорядкування. Оцінюються ресурси й ризики для зменшення кількості ВМ. Для мінімізації (нейтралізації) впливу ВМ на основні показники ЖЦ використовується метод цілочисельної багатокритеріальної оптимізації. Остаточна оцінка впливу ВМ на основні показники ЖЦ здійснюється з використанням агентного імітаційного моделювання.

Ключові слова: життєвий цикл складної техніки, логістичний аналіз «вузьких» місць життєвого циклу, лексикографічне упорядкування варіантів, мінімізація «вузьких» місць, агентне імітаційне моделювання.

ANALYSIS AND MINIMIZATION OF BOTTLENECKS AT THE LIFECYCLE MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNIQUES LOGISTICS

O. E. Fedorovich, M. V. Ivanov, J. A. Leshchenko

The problem of the possible "bottlenecks" (BN) analysis in the formation of the complex products life cycle (LC) on the project planning stage to create a new competitive product is formulated and solved. To determine the critical BN the linguistic representations and lexicographical ordering are used. The resources and risks to reduce the amount of BN are assessed. To minimize (neutralize) the influence of the BN on the main indicators of LC the method of integer-value multicriteria optimization is used. Final evaluation of the influence of the BN on the LC indicators is carried out using the agent simulation modeling.

Keywords: lifecycle of complex techniques, logistics analysis of the "bottlenecks" in the lifecycle, lexicographical options ordering, "bottlenecks" minimization, agent-base modeling.

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.

Иванов Михаил Валерьевич – аспирант каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Лещенко Юлия Александровна – инженер каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.