

УДК 658.562+658.512

О. Е. ФЕДОРОВИЧ, Ю. А. ЛЕЩЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## СТРАТЕГИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Предложены стратегия, метод и модель последовательного улучшения качества аэрокосмического производства с учётом логистических представлений и требований к производству. Улучшение качества осуществляется при последовательном движении по логистической цепи производства (снабжение – производство – сбыт). На каждом этапе цепи формируются требования качества и оцениваются возможности их выполнения путём моделирования мероприятий по обеспечению качества. Проводится поэтапное формирование требований качества с минимизацией отклонений качества от заданных значений. В качестве математического и программного инструментария используются многофакторное планирование эксперимента и имитационное агентное моделирование.*

**Ключевые слова:** стратегия улучшения качества, логистическая цепь производства, оптимизация требований качества, имитационное агентное моделирование.

### Введение

Повышение показателей качества является главным требованием к выпускаемой в Украине аэрокосмической продукции для обеспечения её конкурентоспособности. Большинство предприятий с учётом их возможностей (в основном экономического характера) могут повышать уровень качества продукции поэтапно (последовательно) шаг за шагом (step by step) [1]. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой ставится и решается проблема улучшения качества аэрокосмической продукции путём использования последовательной стратегии с учётом логистической цепи (ЛЦ) производственного процесса.

### Постановка задачи исследования

Представим логистику аэрокосмического производства в виде логистической цепи, элементы которой последовательно связаны (по входам и выходам) между собой. На верхнем уровне такое представление соответствует ЛЦ – «снабжение – производство – сбыт».

Для существующего аэрокосмического производства выпускаемая продукция имеет конкретные значения показателя качества  $K_0$ . Желание руководства предприятия и существующие возможности приводят к необходимости улучшения качества до новых значений  $K_1$ , что обеспечит конкурентоспособность выпускаемой аэрокосмической продукции. С учётом производственной ЛЦ можно, путём при-

влечения специалистов по качеству, задать новые требования качества к выпускаемому продукту для каждого элемента ЛЦ. Таким образом, формируется ряд «новых» требований качества, с учётом существующих «старых» требований:

$$K_{01}, K_{02}, \dots, K_{0n}; \\ K_{11}, K_{12}, \dots, K_{1n};$$

где  $K_{12}$ , например, соответствует «новым» требованиям качества для 2 – го элемента ЛЦ, а  $K_{02}$  – соответствует «старым» требованиям. Возникает разность между «новыми» и «старыми» требованиями, которую необходимо, в ходе мероприятий по улучшению качества, минимизировать и, если возможно, сделать «нулевой».

$$\Delta K_1, \Delta K_2, \dots, \Delta K_n,$$

где  $\Delta K_i$  – разность «новых» и «старых» требований для  $i$  – го элемента ЛЦ,  $\Delta K_i \rightarrow 0$ .

### Решение задачи исследования

Предлагается следующая стратегия последовательного улучшения качества аэрокосмической продукции:

1. Анализируем возможность улучшения качества для первого элемента ЛЦ. Определим значения  $K_1$  и  $\Delta K_1$ . После этого сформируем множество ме-

роприятий  $M_1$  для минимизации  $\Delta K_1$ .

2. По результатам проведённых мероприятий по улучшению качества получим фактические значения  $K_1$  в виде  $K_{1f}$  и  $\Delta K_{1f}$ , для первого элемента ЛЦ.

3. Учитывая полученные фактические значения  $K_{1f}$  и  $\Delta K_{1f}$  эксперты по качеству пересматривают требования к качеству производства последующих после первого элементов ЛЦ. В результате получим:

$$K_2^1, K_3^1, \dots, K_n^1; \\ \Delta K_2^1, \Delta K_3^1, \dots, \Delta K_n^1.$$

4. Перейдём ко второму элементу ЛЦ. Сформируем множество мероприятий  $M_2$  для минимизации  $\Delta K_2^1$  второго элемента ЛЦ.

5. По результатам проведённых мероприятий по улучшению качества получим фактические значения  $K_2^1$  в виде  $K_{2f}^1$  и  $\Delta K_{2f}^1$  для второго элемента ЛЦ.

6. Учитывая полученные значения  $K_{2f}^1$  и  $\Delta K_{2f}^1$  эксперты по качеству пересматривают требования к качеству последующих после второго элементов ЛЦ. В результате получим:

$$K_3^2, K_4^2, \dots, K_n^2; \\ \Delta K_3^2, \Delta K_4^2, \dots, \Delta K_n^2.$$

Далее п.п. 4, 5, 6 для третьего и последующих элементов ЛЦ повторяются. Для  $i$  – го рассматриваемого элемента ЛЦ получим:

$$K_i^{i-1}, K_{i+1}^{i-1}, \dots, K_n^{i-1}; \\ \Delta K_i^{i-1}, \Delta K_{i+1}^{i-1}, \dots, \Delta K_n^{i-1}.$$

Итоговое значение качества продукции определяются последним, выходным элементом ЛЦ и соответствует множеству мероприятий, которые были последовательно проведены на всех элементах ЛЦ, начиная от первого и кончая последним.

Преимущество такой стратегии связано с ограниченными возможностями предприятия, а также с реально существующими на практике системной зависимостью полученного значения качества промежуточного продукта для  $i$  – го элемента ЛЦ с будущим значением качества продукта, которое формируется путём проведения мероприятий на последующем  $i+1$  – м элементе ЛЦ производства.

### Математический и программный инструментальный исследования

Для минимизации  $\Delta K_i^{i-1}$  при выполнении мероприятий по улучшению качества на  $i$  – ом элементе ЛЦ необходимо оптимизировать план действий и проверить его осуществимость путём имитации хода его выполнения. Для оптимизации плана мероприятий по улучшению качества воспользуемся методом многофакторного планирования эксперимента (МПЭ) [2].

Для проведения процедуры оптимизации планирования мероприятий необходимо:

1. Выделить множество факторов  $Q_i$ , которые существенно влияют на результирующие значения качества промежуточного продукта на выходе  $i$  – го элемента ЛЦ.

2. Провести прогностическое моделирование действий по управлению качеством в соответствии с многофакторным планом эксперимента.

3. Получить аналитическую зависимость (регрессия) из которой можно определить значимость факторов, влияющих на качество продукта для  $i$  – го элемента ЛЦ и направление изменения этих факторов (уменьшение либо увеличение). Наименее влияющие факторы при этом можно отбросить.

4. Провести оптимизацию для определения такого сочетания значений факторов, для которых улучшается значение качества  $K_i^{i-1}$  и минимизируется  $\Delta K_i^{i-1}$ .

В качестве примера воспользуемся простейшим планом полного факторного эксперимента (ПФЭ). Пусть эксперты по качеству выделили три фактора, влияющие на качество продукта на выходе  $i$  – го элемента ЛЦ  $x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}$ . Для ПФЭ каждый фактор должен быть представлен в диапазоне в виде минимального  $x_{\min i}$  и максимального  $x_{\max i}$  значений.

Условно для ПФЭ  $x_{\min i}$  соответствует «-», а  $x_{\max i}$  соответствует «+». План ПФЭ для трёх факторов имеет вид (рис. 1):

План формируется путём полного перебора значений  $\hat{x}_i$ , где  $\hat{x}_i \in (-, +)$ . Столбец  $K_i^{i-1}$  соответствует значениям критерия качества промежуточного продукта для  $i$  – го элемента ЛЦ с учётом качества предыдущего  $i-1$  – го элемента. Каждая строка плана ПФЭ будет соответствовать эксперименту, в котором моделируются мероприятия, связанные с улучшением качества при данном сочетании факторов  $\hat{x}_{1i}, \hat{x}_{2i}, \hat{x}_{3i}$ , влияющих на качество продукта. В результате реализации плана ПФЭ, путём имита-

№	$\hat{x}_{1i}$	$\hat{x}_{2i}$	$\hat{x}_{3i}$	$K_i^{i-1}$
1.	-	-	-	$K_{i1}^{i-1}$
2.	-	-	+	$K_{i2}^{i-1}$
3.	-	+	-	$K_{i3}^{i-1}$
4.	-	+	+	$K_{i4}^{i-1}$
5.	+	-	-	$K_{i5}^{i-1}$
6.	+	-	+	$K_{i6}^{i-1}$
7.	+	+	-	$K_{i7}^{i-1}$
8.	+	+	+	$K_{i8}^{i-1}$

Рис. 1. План ПФЭ

ции полного набора действий, связанных с улучшением качества, можно с помощью стандартных расчетов [2] получить регрессионную зависимость. Например, она имеет вид:

$$\begin{aligned}
 K_i^{i-1} &= a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_1 + a_2 \cdot \hat{x}_2 + a_3 \cdot \hat{x}_3 + \\
 &+ a_{12} \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 + a_{13} \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_3 + \\
 &+ a_{23} \cdot \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3 + a_{123} \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3 = \\
 &= 8,1 + 2,3 \cdot \hat{x}_1 - 1,8 \cdot \hat{x}_2 - 0,02 \cdot \hat{x}_3 + \\
 &+ 0,004 \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 - 0,01 \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_3 + \\
 &+ 0,003 \cdot \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3 + 0,01 \cdot \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3.
 \end{aligned}$$

Проведём анализ этой регрессионной зависимости:

1. Наиболее значимыми факторами, влияющими на значение  $K_i^{i-1}$  (с коэффициентами  $a_1, a_2$ ) являются первый и второй факторы. Третий фактор (коэффициент  $a_3$ ) имеет на порядок меньшее влияние на  $K_i^{i-1}$  и поэтому его можно не учитывать (не использовать при проведении мероприятий по улучшению качества).

2. Все произведения в зависимости  $K_i^{i-1}$  («нелинейности») можно не учитывать из-за малых значений коэффициентов  $a_{12}, a_{23}, a_{13}, a_{123}$ .

3. Для улучшения показателей качества  $K_i^{i-1}$  фактор  $\hat{x}_1$  необходимо увеличить, а фактор  $\hat{x}_2$  уменьшить в ходе мероприятий по улучшению качества.

Для максимизации значений показателей качества  $K_i^{i-1}$  можно воспользоваться методом Бокса – Уилсона или методом восходящего симплекса [2]. Причём, часто в производственной практике нет необходимости в «абсолютной» оптимизации, а достаточно улучшения интересующего показателя относительно первоначального значения («условная» оптимизация).

Для имитации проводимых мероприятий и прогнозирования результатов проводимых мероприятий по улучшению качества, а также для получения значения показателя качества целесообразно воспользоваться методом агентного моделирования [3]. Определим следующие агенты для прогностического моделирования мероприятий по улучшению качества:

1. Агент «Генератор» формирует и задаёт значения показателя качества промежуточного продукта для предыдущего  $i-1$  – го элемента ЛЦ.

2. Агент «Мероприятие» имитирует последовательность действий, направленных на улучшение качества для  $i$  – го элемента ЛЦ

3. Агент «Контролёр» имитирует контроль и расчёт значения показателя качества.

4. Агент «Риск» имитирует (генерирует) вероятность срыва выполнения действий Агента «Мероприятие».

5. Агент «Возможность» проверяет уровень возможности (ограничения) для Агента «Мероприятие».

6. Агент «Диспетчер» формирует сценарий в виде последовательности действий (мероприятий) Агента «Мероприятие».

На рисунке 2 представлена архитектура агентной модели. Реализация агентной модели осуществляется в среде JADE [4].

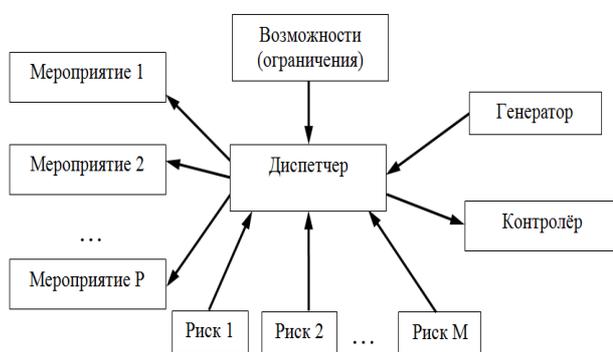


Рис. 2. Архитектура агентной модели

Агентное моделирование проводится в соответствии с планом эксперимента (см. рис. 1) в результате которого формируется вектор – столбец

качества  $K_i^{i-1}$ . Совместное использование МПЭ и агентного имитационного моделирования позволяет прогнозировать результаты будущих мероприятий по улучшению качества заблаговременно, учитывая при этом возможные риски реальных действий.

### Заключение

Предложенный подход позволяет на этапе планирования мероприятий по улучшению качества оценить возможности и риски, связанные с повышением качества аэрокосмической продукции, используя при этом стратегию последовательных действий по улучшению качества.

### Литература

1. Федорович, О. Е. *Логистические модели управления производством [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, О. И. Замирец, А. В. Попов. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2010. – 218 с.*
2. Монтгомери, Д. К. *Планирование эксперимента и анализ данных [Текст] : пер. с англ. / Д. К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.*
3. Прохоров, А. В. *Агентное имитационное моделирование процессов управления предприятиями нефтепродуктообеспечения [Текст] / А. В. Прохоров, Амен Соуд Абдалазез Мохаммед // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 3 (51). – С. 37–43.*
4. *Java Agent DEvelopment Framework [Электронный ресурс] / JADE, сайт. – Режим доступа: <http://jade.tilab.com>. – 06.08.2014.*

*Поступила в редакцию 07.08.2014, рассмотрена на редколлегии 10.09.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. инженерии программного обеспечения И. В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

### СТРАТЕГІЯ ПОСЛІДОВНОГО ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ У ЛОГІСТИЧНОМУ ЛАНЦЮЗІ ВИРОБНИЦТВА

*О. Є. Федорович, Ю. О. Лещенко*

Запропоновано стратегію, метод і модель послідовного поліпшення якості аерокосмічного виробництва з урахуванням логістичних уявлень і вимог до виробництва. Поліпшення якості здійснюється при послідовному русі по логістичному ланцюзі виробництва (постачання - виробництво - збут). На кожному етапі ланцюга формуються вимоги якості і оцінюються можливості їх виконання шляхом моделювання заходів по забезпеченню якості. Проводиться поетапне формування вимог якості з мінімізацією відхилень якості від заданих значень. В якості математичного та програмного інструментарію використовуються багатофакторне планування експерименту та імітаційне агентне моделювання.

**Ключові слова:** стратегія поліпшення якості, логістичний ланцюг виробництва, оптимізація вимог якості, імітаційне агентне моделювання.

### STRATEGY OF CONTINUOUS IMPROVEMENT QUALITY IN THE LOGISTICS CHAIN OF AEROSPACE PRODUCTION

*O. Ye. Fedorovich, Ju. A. Leshchenko*

A strategy, method and model continuous improvement as aerospace production based logistics concepts and requirements for production. Improving the quality is carried out in a sequential movement along the logistics chain of production (supply - production - sales). At each stage of the chain formed quality requirements and evaluated their possible execution by the design measures to ensure quality. Reservation gradual formation requirements as minimizing deviations from quality preset values. As mathematical and software tools used multifactorial experimental design and simulation modeling agent.

**Keywords:** strategy of quality improvement, the logistics chain of production, optimization of quality requirements, simulation modeling agent.

**Федорович Олег Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

**Лещенко Юлия Александровна** – инженер каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина.