

УДК 658.012.23

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

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

*Ставится и решается задача формирования сети контроля качества на предприятии с учетом ограниченности ресурсов. На первом этапе, с использованием метода полного факторного эксперимента, выделяются существенные точки контроля качества. На втором этапе, с использованием булевого программирования, определяется глубина контроля качества. На третьем этапе проводится моделирование процесса контроля качества с определением итоговых показателей качества выпускаемой продукции и требуемых затрат на улучшение качества.*

**Ключевые слова:** глубина контроля качества, оптимизация затрат на улучшение качества, агентное моделирование контроля качества.

### Введение

Обеспечение конкурентоспособности отечественной продукции на зарубежных рынках, в первую очередь, связано с повышением качества выпускаемых изделий аэрокосмической отрасли. Ограниченность ресурсов предприятия, а также сложность в получении инвестиций заставляют руководство решать проблему качества с учетом своих возможностей. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой ставится и решается задача повышения качества в условиях ограниченных ресурсов предприятия [1].

### Постановка задачи исследования

При формировании системы контроля качества (СКК) необходимо выделить «узкие» места в производстве, которые оказывают существенное влияние на качество выпускаемой продукции. Обычно, это рабочие места, на которых при выполнении технологических операций, возникает большой риск появления брака как исправимого, так и неисправимого. Как известно, наиболее жесткий контроль качества связан с внедрением стратегии TQM (тотальный контроль качества) [2]. Данная стратегия предполагает размещение точек контроля качества (ТКК) «процесса» и «продукта» по всей технологической цепи с максимальной глубиной контроля. Но при этом, необходимо затратить большие средства на автоматизированную аппаратуру контроля и персонал. Кроме того, в этом случае, производственный цикл увеличивается по времени из-за выполнения

операций контроля, что существенно влияет на количественные показатели выпускаемой продукции.

Учитывая ограниченные возможности отечественных предприятий, необходимо минимизировать количество ТКК, которые оказывают существенное влияние на качество выпускаемой продукции [3].

### Решение задачи исследования

Рассматриваемую задачу решим в три этапа:

1. Выделение ТКК, оказывающих существенное влияние на качество выпускаемой продукции.
2. Оптимизация глубины контроля качества.
3. Моделирование процесса контроля качества.

### Выделение существенных точек контроля качества

Воспользуемся методом теории эксперимента, который основан на полном переборе факторов. Для этого используется полный факторный эксперимент (ПФЭ) [4], в котором количество перебираемых значений факторов соответствует их полному перебору:

$$N = 2^n,$$

где  $n$  – общее количество факторов.

В нашей задаче под фактором будем понимать выбор  $j$ -й ТКК в технологической цепи производства:  $x_j \in \{0;1\}$ .

Тогда комбинация  $x_1, x_2, \dots, x_n$  в виде нулей и единиц соответствует выбору конкретной сети ТКК,

которая будет использоваться на данном предприятии для контроля качества.

Для оценки возможного улучшения качества ΔК воспользуемся мнениями экспертов, которые зададут значения вектор-столбца (отклик) улучшения качества в матрице плана ПФЭ (рис. 1).

i/j	X1	X2	X3	ΔК
1	0	0	0	0
2	0	0	1	36
3	0	1	0	8
4	0	1	1	10
5	1	0	0	12
6	1	0	1	15
7	1	1	0	18
8	1	1	1	20

Рис. 1. План ПФЭ для трех факторов

В иллюстрируемом примере рассмотрим три фактора, значения ΔК представленным в %.

Пусть эксперты задали им значения ΔК<sub>1</sub> в вектор-столбце «отклика» с помощью ПФЭ. С использованием расчетных формул для ПФЭ можно получить регрессивную зависимость вида:

$$\begin{aligned} \Delta K = & a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \\ & + a_{12} x_1 x_2 + a_{23} x_2 x_3 + a_{13} x_1 x_3 + \\ & + a_{123} x_1 x_2 x_3. \end{aligned}$$

Для выделения существенных факторов нас будут интересовать значения коэффициентов  $a_j$  при факторах  $x_j$ .

Для рассматриваемого примера получим:

$$a_1 = 5,13; a_2 = 2,88; a_3 = 1,63.$$

Учитывая ограниченность ресурсов предприятия, фактор  $x_3$ , который имеет самое меньшее значение коэффициента  $a_3 = 1,63$ , можно не использовать. Поэтому для организации системы контроля необходимо использовать 1-ю и 2-ю точки контроля качества.

### Оптимизация глубины контроля качества

Выбрав существенные ТКК в технологической цепи производства, необходимо обосновать глубину контроля качества с учетом ограниченности ресурсов предприятия. Для решения этой задачи введем следующие показатели:

$K$  – качество выпускаемой продукции;

$C$  – затраты на формирование сети ТКК (контрольное оборудование, оплата работы персонала и др.);

$T$  – затраты времени, связанные с проведением контроля качества;

$R$  – риски обнаружения брака.

Введем булеву переменную:

$$x_{ji} \in \{0;1\},$$

где  $x_{ji} = 1$ , если для  $j$ -й ТКК выбрана  $i$ -я глубина контроля качества и  $x_{ji} = 0$  – в противном случае.

При этом  $\sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} = 1$ , что означает обязательный выбор  $i$ -й глубины контроля для  $j$ -й ТКК;  $m_j$  – количество уровней контроля качества для  $j$ -й ТКК.

Тогда задачу оптимизации глубины контроля качества представим в виде оптимизации целевой функции (качество) с учетом набора ограничений [5, 6]:

$$\max K, K = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} k_{ji},$$

$$C = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} c_{ji}, C \leq C',$$

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} t_{ji}, T \leq T',$$

$$R = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} r_{ji}, R \leq R',$$

где  $C'$  – допустимые затраты;

$T'$  – допустимое время контроля;

$R'$  – допустимый риск (брак).

С учетом ограниченности ресурсов выделяемых руководством для улучшения качества выпускаемой продукции, возможна следующая постановка задачи:

$$\min C, C = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} c_{ji},$$

$$K = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} k_{ji}, K \geq K',$$

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} t_{ji}, T \leq T',$$

$$R = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} r_{ji}, R \leq R',$$

где  $R'$  – требуемый уровень качества выпускаемой продукции.

### Моделирование процесса контроля качества

Процесс контроля качества является сложным динамическим процессом, в котором присутствуют случайные факторы (появление брака). Для моделирования процесса контроля качества воспользуемся методом агентного имитационного моделирования [7]. На рис. 2 представлена структурная схема агентной имитационной модели.

Выделим следующие агенты:

1. Агент описания сети ТКК. Предназначен для описания транспортных связей отдельных ТКК между собой.
2. Агент технологических маршрутов. Предназначен для формирования маршрута прохождения «продукта» (последовательность прохождения ТКК).
3. Агент ТКК. Предназначен для моделирования действий в ТКК.
4. Агент брака. Предназначен для формирования риска появления брака в ТКК. Величина риска, а также параметры генератора, который формирует

значения брака, задаются в начале моделирования для каждой ТКК.

5. Агент качества. Предназначен для формирования текущего и итогового значения качества при движении «продукта» по технологическому процессу.

6. Агент затрат. Предназначен для оценки текущих и итоговых затрат, связанных с контролем качества при движении «продукта» (стоимость затрат, потери времени на контроль).

7. Агент диспетчер. Предназначен для организации и управления процессом моделирования (отсчет системного времени, организация списка будущих событий и др.).

8. Агент результатов моделирования.

### Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать в задаче формирования автоматизированной сети контроля качества, когда необходимо определить места расположения ТКК и глубину контроля качества с учетом ограниченности ресурсов, выделяемых руководством предприятия для улучшения качества выпускаемых изделий аэрокосмической отрасли.

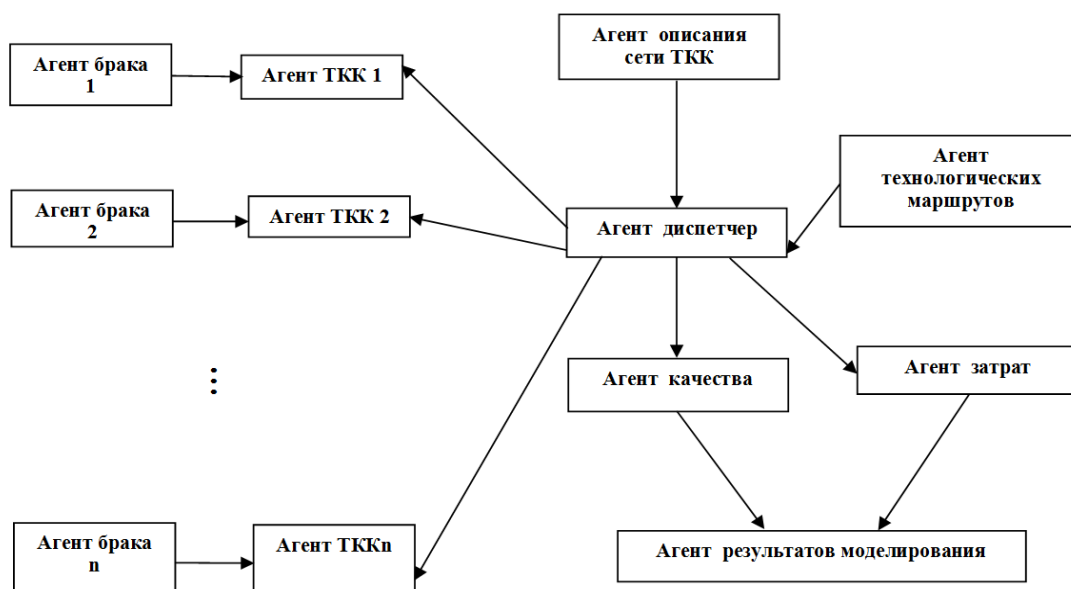


Рис. 2. Структурная схема агентной имитационной модели

## Література

1. Федорович, О. Е. Стратегія послідовального удешевлення якості в логістическій ланці аерокосмічного виробництва [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. А. Лещенко // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2014. – № 5 (112). – С. 109 – 112.

2. Бондаренко, С. М. Особливості використання соціально-орієнтованої концепції загального управління якістю ТQM в Україні [Текст] / С. М. Бондаренко, І. А. Строчак // *Технології та дизайн*. – 2014. – № 1 (10). – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/td\\_2014\\_1\\_8.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/td_2014_1_8.pdf). – 13.05.2015.

3. Федорович, О. Е. Выделение существенных факторов и выбор стратегий повышения качества продукции в условиях ограниченности ресурсов предприятия [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. А. Лещенко // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2015. – № 2 (72). – С. 134 – 138.

4. Монтомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных [Текст] : пер. с англ. / Д. К. Монтомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.

5. Катренко, А. В. Дослідження операцій: підручник [Текст] / А. В. Катренко ; МОНУ. – 3-тє вид., випр. та доп. – Львів : Магнолія –2006, 2009. – 352с.

6. Юдин, Д. Б. Линейное программирование. Теория, методы и приложения [Текст] / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. – М. : Наука, 1969. – 318 с.

7. Амен, Соуд Абдалазез Мохаммед Координация взаимодействия агентов при моделировании процессов нефтепродуктообеспечения [Текст] / Соуд Абдалазез Мохаммед Амен, А. В. Прохоров, О. Е. Федорович // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2012. – № 4 (56). – С. 185 – 192.

Поступила в редакцію 20.05.2015, рассмотрена на редколлегии 17.06.2015

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЛИБИНИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОСТІ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

*О. Є. Федорович, Ю. О. Лещенко*

Ставиться і вирішується завдання формування мережі контролю якості на підприємстві з урахуванням обмеженості ресурсів. На першому етапі, з використанням методу повного факторного експерименту, виділяються істотні точки контролю якості. На другому етапі, з використанням булевого програмування, визначається глибина контролю якості. На третьому етапі проводиться моделювання процесу контролю якості з визначенням підсумкових показників якості продукції та необхідних витрат на поліпшення якості.

**Ключові слова:** глибина контролю якості, оптимізація витрат на поліпшення якості, агентне моделювання контролю якості.

## MODELING AND OPTIMIZATION DEPTH QUALITY CONTROL WITH LIMITED RESOURCES OF ENTERPRISE OF AEROSPACE INDUSTRY

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

Formulate and solve the problem of forming a network of quality control at the plant, given the limited resources. In the first stage, using the method of full factorial experiment, allocated significant point of quality control. In the second stage, using boolean programming determines the depth of quality control. In the third stage, the modelling of quality control with the definition of outcome indicators of product quality and costs required to improve the quality.

**Keywords:** depth of quality control, cost optimization to improve the quality, agent-based modeling of quality control.

**Федорович Олег Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. інформаційних управляючих систем, Национальний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Україна.

**Лещенко Юлия Александровна** – м. н. с. каф. інформаційних управляючих систем, Национальний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Україна.