

УДК 658.562+658.512

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, Ю.А. ЛЕЩЕНКО*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

Рассматривается и решается задача повышения качества выпускаемой продукции путём рационального выбора множества вспомогательных операций (контроль, транспортировка, складирование и т.д.) обеспечивающего процесса основного производства. Рассмотрим две основные схемы организации производства: последовательная и последовательно – параллельная. Оптимизация осуществляется с помощью целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Рассматривается оптимизация отдельных показателей, а затем комплексного критерия качества.

Ключевые слова: *обеспечение качества, вспомогательные процессы производства, оптимизация показателей качества.*

Введение

В настоящее время для повышения качества приборостроительной продукции, используется комплексный подход, учитывающий требования ISO к технологически зрелому предприятию. Особое внимание уделяется обеспечению качества не только основного производства (основные технологические операции) но и вспомогательного или обеспечивающего процесса (контроль, транспортировка, складирование и т.д.) [1, 2]. Поэтому тема предполагаемой публикации, в которой основное внимание уделяется качеству вспомогательных процессов производства является актуальной.

В статье рассматриваются две основные схемы организации основного процесса производства: последовательная и последовательно – параллельная. Для каждой из этих схем предложены постановка и метод решения задачи оптимизации качества вспомогательных процессов производства.

Постановка задачи исследования

Обеспечение качества производства в приборостроении является актуальной проблемой, которая непосредственно связана с конкурентоспособностью продукции. Из-за распределённости производства большую роль играют вспомогательные процессы, которые обслуживают основное производство. В логистике им уделяют основное внимание, так как они влияют на качество, стоимость и время продвижения готовой продукции к потребителю. Поэтому рациональный выбор вспомогательных операций существенно влияет на итоговое качество продукции.

Рассмотрим последовательную схему организации производственного процесса, когда основные технологические операции следуют одна за другой, образуя последовательную логистическую цепь. Пусть, путём предварительного анализа будущих (перспективных) заказов, определили основные технологические операции и оборудование, которое их реализует, $i = \overline{1, M}$, где M – количество основных технологических (логистических) операций.

Для выполнения основных технологических операций привлекаются вспомогательные операции, которые образуют множество возможных альтернатив, из которых необходимо выбрать рациональные варианты организации обеспечивающего процесса производства. Пусть для каждой i -й основной операции возможно множество альтернатив H_i в виде j -х вспомогательных операций.

С помощью экспертов проведен предварительный анализ множества возможных вспомогательных операций и определены:

t_{ij} – время выполнения j -й вспомогательной операции для обеспечения выполнения i -й основной операции;

c_{ij} – стоимость организации j -й вспомогательной операции (стоимость оборудования, размещение в цехе и т. д.) для обеспечения выполнения i -й основной операции;

p_{ij} – процент брака продукции для i -й основной операции, которая связана с j -й вспомогательной операцией.

Необходимо, с помощью решения оптимизационной задачи, выбрать рациональный состав вспомогательных операций, при котором обеспечивается

требуемое качество приборостроительной продукции путём выполнения требований к следующим основным показателям:

T – суммарное время вспомогательных операций (обеспечивающий процесс);

C – стоимость организации вспомогательных операций для обеспечения работы основного производства;

P – итоговый процент брака, который зависит от рационального выбора множества вспомогательных операций.

Решение задачи исследования

Для решения оптимизационной задачи по рациональному выбору множества вспомогательных операций основного производственного процесса воспользуемся методом целочисленного линейного программирования [3, 4].

Введём булевы переменные $X_{ij} \in \{0;1\}$, где $X_{ij} = 1$ означает, что для выполнения i -й основной технологической операции выбрана j -ая вспомогательная (обеспечивающая) операция, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, L}$, а $X_{ij} = 0$ – в противном случае. При этом естественным условием является:

$$\sum_j X_{ij} = 1 \text{ для всех } i = \overline{1, M}.$$

С учётом введённых булевых переменных X_{ij} сформулируем основные показатели для обеспечения качества производства:

1. $T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}$ – суммарное время выполнения множества вспомогательных операций;

2. $\tilde{N} = \sum_i \sum_j x_{ij} \tilde{n}_{ij}$ – стоимость организации всех вспомогательных операций производства;

3. $P = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}$ – процент брака, который зависит от выбора множества вспомогательных операций.

При этом на каждый из предложенных показателей производства, накладываются ограничения:

– $T \leq T'$, T' – допустимое время выполнения вспомогательных операций;

– $C \leq C'$, C' – допустимая стоимость организации вспомогательных операций;

– $P \leq P'$, P' – допустимый процент брака, который зависит от выбора вспомогательных операций.

Рассмотрим следующие основные постановки оптимизационной задачи по рациональному выбору множества вспомогательных операций, влияющих на качество выпускаемой продукции.

1. Минимизировать время выполнения вспомогательных операций:

$$\min T, T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}$$

при выполнении ограничений:

– по стоимости: $C \leq C'$,

где $\tilde{N} = \sum_i \sum_j x_{ij} \tilde{n}_{ij}$;

– по допустимому проценту брака: $P \leq P'$,

где $P = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}$.

2. Минимизировать стоимость вспомогательных операций:

$$\min C, \tilde{N} = \sum_i \sum_j x_{ij} \tilde{n}_{ij}$$

При выполнении ограничений:

– по времени: $T \leq T'$,

где $T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}$;

– по допустимому проценту брака: $P \leq P'$,

где $P = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}$.

3. Минимизировать процент брака, связанный с выбором вспомогательных операций:

$$\min P, P = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}$$

при выполнении ограничений:

– по времени: $T \leq T'$,

где $T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}$;

– по стоимости: $C \leq C'$,

где $\tilde{N} = \sum_i \sum_j x_{ij} \tilde{n}_{ij}$.

4. Перейдём к многокритериальной постановке задачи оптимизации по рациональному выбору вспомогательных операций производства для обеспечения качества выпускаемой продукции.

На первом этапе переведём показатели вспомогательного производственного процесса в безразмерную шкалу $(0 \div 1)$.

$$\hat{T} = \frac{T}{T'}, \hat{C} = \frac{C}{C'}, \hat{P} = \frac{P}{P'}$$

Затем, на втором этапе, введём весовые показатели, которые указывают на важность тех или иных показателей. Их можно оценить с помощью экспертов:

$$0 \leq \alpha_T \leq 1, 0 \leq \alpha_C \leq 1, 0 \leq \alpha_P \leq 1,$$

при этом $\sum_{k=1}^3 \alpha_k = 1$.

На третьем этапе введём комплексный критерий для оценки вспомогательных операций:

$$K = \alpha_T \hat{T} + \alpha_C \hat{C} + \alpha_P \hat{P}.$$

Необходимо найти $\min K$,

$$K = \alpha_T \frac{T}{T'} + \alpha_C \frac{C}{C'} + \alpha_P \frac{P}{P'} = \frac{\alpha_T}{T'} \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij} + \frac{\alpha_C}{C'} \sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij} + \frac{\alpha_P}{P'} \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}.$$

При этом необходимо удовлетворить следующим ограничениям:

$$T \leq T', C \leq C', P \leq P'.$$

Сформулируем и решим задачу рационального выбора множества вспомогательных операций для обеспечения основных процессов производства для последовательно – параллельной схемы основного производства. В этом случае модель производства можно представить в виде сетевого графа, где вершинами являются основные технологические операции, а дугами – вспомогательные (обеспечивающие) операции (контроль, транспортировка, складирование и т.д.).

Материальный поток связывает каждую j – ю вершину по входу (основная технологическая операция) с i – ми вершинами (по выходам) в соответствии с сетевым графом G . Эту связь представим в виде матрицы SET_G у которой на пересечении i -й строки и j -го столбца стоит 1 либо 0, что указывает на связь i – ой операции с последующей j -й, $i \neq j$, $i, j = \overline{1, M}$, где M , как и прежде, количество основных технологических операций.

Пусть, путём предварительного анализа, с привлечением опытных технологов и специалистов по организации вспомогательных операций производства, определены:

t_{jik} – время выполнения вспомогательной операции между i -й и j -й вершинами сетевого графа G , если использовать k -й вариант (альтернативу) вспомогательной операции;

c_{jik} – стоимость организации вспомогательной операции между i -й и j -й вершинами сетевого графа G , если использовать k – й вариант (альтернативу);

p_{jik} – возможный процент брака, связанный с использованием k -го варианта вспомогательной операции для обеспечения связи между i -й и j -й вершинами сетевого графа G .

Для решения оптимизационной задачи введём булеву переменную $x_{jik} \in \{0;1\}$, где $x_{jik} = 1$, когда имеется связь в графе SET_G между i -й и j -й вершинами и выбрана k -ая альтернативная вспомогательная операция; $x_{jik} = 0$ – в противном случае.

Сформулируем основные показатели для оценки качества с учётом вспомогательных операций производства для последовательно – параллельной сетевой схемы производства:

$$1) T = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} t_{jik} \text{ – суммарное время}$$

выполнения вспомогательных операций;

$$2) C = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} c_{jik} \text{ – стоимость организа-}$$

ции всех вспомогательных операций;

$$3) P = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} p_{jik} \text{ – итоговый процент}$$

брака, связанный с выбором вспомогательных операций для обеспечения основного производственного процесса.

Рассмотрим различные постановки задачи рационального выбора множества вспомогательных операций для сетевой модели основного производства.

1. Необходимо минимизировать время, затраченное на выполнение вспомогательных операций:

$$\min T, T = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} t_{jik},$$

с учётом ограничений:

$$C \leq C', C = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} c_{jik};$$

$$P \leq P', P = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} p_{jik}.$$

2. Необходимо минимизировать финансовые затраты, связанные с организацией вспомогательных операций:

$$\min C, C = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} c_{jik},$$

с учётом ограничений:

$$T \leq T', T = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} t_{jik};$$

$$P \leq P', P = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} p_{jik}.$$

3. Необходимо минимизировать процент брака, который зависит от выбора вспомогательных операций:

$$\min P, P = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} p_{jik},$$

с учётом ограничений:

$$T \leq T', T = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} t_{jik};$$

$$C \leq C', C = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} c_{jik}.$$

4. Рассмотрим многокритериальную постановку задачи рационального выбора вспомогательных операций основного производства.

Для этого, вначале, пронормируем отдельные показатели вспомогательного производства, с учётом проведенной оптимизации этих показателей. В результате получим:

$$\hat{T} = \frac{T - T^*}{T' - T^*}, \hat{C} = \frac{C - C^*}{C' - C^*}, \hat{P} = \frac{P - P^*}{P' - P^*},$$

где T^* , C^* , P^* – экстремальные значения показателей T , C , P . Пусть значимость (вес) отдельных показателей оценивается с помощью экспертов:

$$0 \leq \alpha_T \leq 1, 0 \leq \alpha_C \leq 1, 0 \leq \alpha_P \leq 1,$$

$$\alpha_T + \alpha_C + \alpha_P = 1.$$

Комплексный критерий для рационального выбора вспомогательных операций, с учётом обеспечения качества продукции, можно представить следующим образом:

$$K = \alpha_T \hat{T} + \alpha_C \hat{C} + \alpha_P \hat{P}.$$

Необходимо найти минимум K :

$$K = \alpha_T \frac{T - T^*}{T' - T^*} + \alpha_C \frac{C - C^*}{C' - C^*} + \alpha_P \frac{P - P^*}{P' - P^*} =$$

$$= \frac{\alpha_T}{T' - T^*} \sum_j \sum_i \sum_k x_{kij} t_{kij} + \frac{\alpha_C}{C' - C^*} \sum_j \sum_i \sum_k x_{kij} c_{kij} +$$

$$+ \frac{\alpha_P}{P' - P^*} \sum_j \sum_i \sum_k x_{kij} p_{kij} - \frac{\alpha_T T^*}{T' - T^*} - \frac{\alpha_C C^*}{C' - C^*} - \frac{\alpha_P P^*}{P' - P^*},$$

с учётом ограничений:

$$T \leq T', T = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} t_{jik},$$

$$C \leq C', C = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} c_{jik},$$

$$P \leq P', P = \sum_j \sum_i \sum_k x_{jik} p_{jik}.$$

Для решения представленных задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными можно использовать один из известных методов [3, 4].

Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать в задачах долгосрочного планирования производства, когда необходимо обеспечить качество не только основного производственного процесса, но и вспомогательных (обеспечивающих) процессов путём рационального выбора различных альтернатив из множества возможных вспомогательных операций.

Литература

1. Шевчук Д.А. Управление качеством: учебник / Д.А. Шевчук. – М.: ГроссМедиа, РОСБУХ, 2008. – 216 с.
2. ДСТУ ISO 9004–2001. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.guds.gov.ua/document/53756;/DSTU%20ISO%209004_2001.doc
3. Шишкин Е.В. Математические методы и модели в управлении: уч. пособие/ Е.В. Шишкин, А.Г. Чхартишвили. – М.: Дело, 2004. – 440 с.
4. Сea Ж. Оптимизация. Теория и алгоритмы / Ж. Сea; под ред. А.Ф. Кононенко и Н.Н. Моисеевна. – М.: Мир, 1973. – 244 с.

Поступила в редакцию 19.07.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОБГРУНТУВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ДОПОМІЖНИХ ВИРОБНИЧИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИПУСКАЄТЬСЯ

О.Є. Федорович, Ю.О. Лещенко

Розглядається й вирішується завдання підвищення якості продукції, що випускається, шляхом раціонального вибору безлічі допоміжних операцій (контроль, транспортування, складування та ін.) процесу, що забезпечує, основного виробництва. Розглянемо дві основні схеми організації виробництва: послідовна й послідовно - паралельна. Оптимізація здійснюється за допомогою целочисленого лінійного програмування з булевыми змінними. Розглядається оптимізація окремих показників, а потім комплексного критерію якості.

Ключові слова: забезпечення якості, допоміжні процеси виробництва, оптимізація показників якості.

SUBSTANTIATION AND OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF THE AUXILIARY INDUSTRIAL OPERATIONS FOR QUALITY MAINTENANCE LET OUT PRODUCTION

O.Ye. Fedorovich, Ju. A. Leshchenko

The task of improvement of quality of let out production by a rational choice of set of auxiliary operations (control, transportation, stacking is considered and dares.) providing process of the main manufacture. We will consider two main circuits of production organization: serial and it is serial – parallel. Optimization is carried out by means of integer linear programming with boolean variables. Optimization of separate indexes and then complex criterion of quality is considered.

Key words: quality maintenance, auxiliary processes of manufacture, optimisation of indicators of quality.

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.