

УДК 66.012

П.В. Плехов, В.Ф. Беккер, А.В. Затонский

**УПРАВЛЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ПРОИЗВОДСТВА
В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Рассмотрена методология управления средствами химико-технологического производства при высоких темпах изменения окружающей среды. В этом случае необходима оперативная трансформация производства и полное перепрограммирование всех управляющих воздействий, ориентированные на экономические оценки затрат.

Ключевые слова: управление, менеджмент качества, системный анализ, ремонт.

Мировой опыт [1] показывает, что в рыночных условиях успеха достигают те предприятия, которые балансируют в первую очередь производственные, а также коммерческие и финансовые цели. К управлению средствами производства как подсистеме менеджмента качества продукции предъявляются, в первую очередь, требования оперативности перестройки аппаратурно-технологической схемы химико-технологического производства, которая заключается в определении состава комплекса однотипного оборудования (например, насосов, компрессоров, теплообменников, реакторов) с учетом резервирования по заданному критерию качества его работы [2]. Специфика химических производств (а также других производств с непрерывной технологией, необходимостью ремонта оборудования и т. д.) не позволяет применить для ее решения стандартные методы теории надежности [3]. Существенным препятствием на пути их использования является, в частности, вид критерия оптимизации, который, как правило, не учитывает такие существенные составляющие, как потери от простоя оборудования, затраты на ремонт и др. Следовательно при оценке качества оперативно разворачиваемой технологической схемы следует ориентироваться на затраты, необходимые для трансформации производства.

Построим математическую модель задачи. Под комплексом оборудования будем понимать пару $m(i, k)$, где i – тип оборудования; k – количество элементов оборудования i -го типа.

Область допустимых значений M пар m определяется параметрами химико-технологической системы, например, параметрами свойств (плотностью, вязкостью, агрессивностью и др.) и параметрами состояния (температурой, концентрацией компонентов и др.) потоков веществ, подвергаемых переработке [4]. Для каждого варианта задачи параметр i пробегает определенное подмножество I множества S всех возможных типов аппаратов; параметр k может принимать произвольные натуральные значения.

Возьмем некоторое произвольное m , для которого величина $\bar{F}(m)$ представляет собой приведенные капитальные и эксплуатационные затраты

$$\bar{F}(m) = E_{\text{н}} \cdot K + \Gamma,$$

где $\bar{F}(m)$ – величина приведенных затрат; $E_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности; K – капитальные затраты на средства производства; Γ – годовые эксплуатационные расходы на обслуживание средства производства.

Обозначим для этого произвольного m величину $\bar{Q}(m)$ – производительность системы, а также $\varphi(m)$ – показатель надежности системы. Для фиксированного комплекса m величины $\bar{F}(m)$ и $\bar{Q}(m)$ характеризуются распределением случайной величины в некоторых пределах, однако, можно определить некоторые детерминированные функции $F(m)$ и $Q(m)$, характеризующие соответственно затраты и производительность системы. При выборе структуры системы желательно оптимизировать два критерия – минимизировать $F(m)$ и максимизировать $Q(m)$ при условии $Q(m) \geq Q_0$, где Q_0 – заданная производительность системы. Но такая задача векторной оптимизации не имеет решения, так как при увеличении надежности системы растет и функция затрат $F(m)$. Поэтому не существует такого m , которое одновременно минимизировало бы $F(m)$ и максимизировало $Q(m)$. Чтобы задача стала содержательной, ее следует преобразовать в однокритериальную задачу оптимизации некоторого функционала $\Phi(m)$, определенного на множестве функций $F(m)$, где $m \in M$ при выполнении ограничения $Q(m) \geq Q_0$.

Определим вид функционала $\Phi(m)$ для заданного комплекса $m(i,k)$. Если обозначить через $F(i,k)$ суммарные затраты за рассматриваемый период работы технологической схемы, состоящей из комплекса аппаратов $m(i,k)$ (представляющие собой случайную величину), то

$$\Phi(m) = \Phi(i,k) = M[F(i,k)], \quad (8)$$

где обозначение типа $M[\cdot]$ указывает, что берется математическое ожидание случайной величины. Величину $F(i,k)$, представляющую собой суммарные затраты, можно записать в виде

$$F(i,k) = F_{\text{k}}(i,k) + F_{\text{ен}}(i,k) + F_{\text{рем}}(i,k) + F_{\text{пот}}(i,k), \quad (9)$$

где $F_{\text{k}}(i,k)$ – приведенные капитальные затраты; $F_{\text{ен}}(i,k)$ – затраты на энергоснабжение; $F_{\text{рем}}(i,k)$ – затрат на ремонт; $F_{\text{пот}}(i,k)$ – потери от недовыпуска продукции в случае выхода из строя резервных аппаратов.

Величины $F_{\text{ен}}(i,k)$, $F_{\text{рем}}(i,k)$, $F_{\text{пот}}(i,k)$ для фиксированного комплекса $m(i,k)$ случайные, $F_{\text{k}}(i,k)$ – детерминированная величина:

$$F_k(i, k) = E_n F_k^1(i) \cdot k, \quad (10)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности; $F_k^1(i)$ – затраты на приобретение одного аппарата i -го типа. Из выражений (8), (9) получаем

$$\Phi(i, k) = E_n F_k^1(i, k) k + M[F_{\text{н}}(i, k)] + M[F_{\text{рем}}(i, k)] + M[F_{\text{пот}}(i, k)] \quad (11)$$

Величину $M[F_{\text{н}}(i, k)]$ можно найти по формуле

$$M[F_{\text{н}}(i, k)] = b \sum_i t_j^k(i) \cdot z(i) \cdot \min(j, n_i), \quad (12)$$

где b – стоимость одного Дж энергии; $t_j^k(i)$ – среднее время, в течение которого исправны одновременно j аппаратов i -го типа из k аппаратов; $z(i)$ – затраты электроэнергии одним аппаратом i -го типа в единицу времени; n_i – количество аппаратов i -го типа, обеспечивающих производительность Q_0 , которое определяется по формуле

$$n_i = \text{int}\left(\frac{Q_0}{Q_1(i)}\right) + 1, \quad (13)$$

где $Q_1(i)$ – производительность одного аппарата i -го типа, $\text{int}()$ – операция выделения целой части дробного числа.

Рассчитаем средние затраты на ремонт оборудования $M[F_{\text{рем}}(i, k)]$.

Пусть $\alpha(i)$ – среднее время ремонта одного аппарата i -го типа, приходящееся на единицу времени работы аппарата. Вообще величина $\alpha(i)$ зависит от времени t , в течение которого аппарат находился в эксплуатации. Зависимость $\alpha(i)$ от t можно считать линейной:

$$\alpha(i) = \alpha_0(i) + \beta(i) \cdot t, \quad (14)$$

причем величины $\alpha_0(i)$ и $\beta(i)$ определяются методом наименьших квадратов по имеющимся статистическим данным о простоях аппаратов. Если среднее время простоя мало зависит от срока эксплуатации аппарата, то $\beta(i) \approx 0$ и $\alpha(i) \approx \alpha_0(i)$. В течение времени τ среднее время простоя одного аппарата i -го типа составляет

$$\bar{t}_i(i) = \tau \cdot \text{int}\left(\alpha_0(i) + \beta(i) \frac{T_s(t)}{2}\right) \quad (15)$$

где $T_s(t)$ – средний срок эксплуатации. Значение $\bar{t}_i(i)$ можно найти и непосредственно по статистическим данным без расчета $\alpha_0(i)$, $\beta(i)$ и $T_s(t)$. Средняя стоимость ремонта всех аппаратов за время τ .

$$M[F_{\text{рем}}(i, k)] = S_i \cdot \bar{t}_i(i) \cdot n_i, \quad (16)$$

где S_i – средние затраты на ремонт i -го аппарата в единицу времени.

Определим теперь средние потери $M[F_{\text{пот}}(i, k)]$ за время τ от недовыпуска продукции из-за простоев оборудования. Если в некоторый момент времени неисправны j аппаратов, причем $k \geq j \geq k - n_i + 1$, то в системе работают $j - k - n_i$ аппаратов. Поэтому средние потери составляют

$$M[F_{\text{пот}}(i, k)] = C \cdot \sum Q_i(i) (\tau - t_j^{n_i}(i)) (j - k - n_i), \quad (17)$$

где C – стоимость единицы продукции.

Теперь для определения $\Phi(i, k)$ остается указать метод вычисления среднего времени $t_j^{n_i}(i)$, в течение которого одновременно исправны j аппаратов i -го типа из общего числа n_i аппаратов. Для вычисления этого времени не будем использовать закон распределения времени простоев одного аппарата, так как в силу аддитивности величины математического ожидания для нахождения $t_j^{n_i}(i)$ достаточно знать лишь математическое ожидание времени простоев одного аппарата.

Среднее время неисправности одновременно j аппаратов ($1 \leq j \leq k$) в течение рассматриваемого интервала времени τ можно установить по формуле

$$\bar{t}_j^{n_i}(i) = \tau \cdot P_j^k(i), \quad (18)$$

где $P_j^k(i)$ – вероятность того, что в произвольный фиксированный момент времени неисправны j аппаратов i -го типа из k ; τ – рассматриваемый интервал времени работы технологической схемы.

Действительно, пусть $x(t)$ – случайная величина, равная единице, если в момент t неисправны j аппаратов, и равная нулю в противном случае. Тогда $M[x(t)]$, и время неисправности j аппаратов за интервал τ , являющееся случайной величиной, составляет

$$t = \int_0^\tau x(t) dt.$$

Отсюда

$$\bar{t}_j^{n_i}(i) = M[t] = M \left[\int_0^\tau x(t) dt \right] = \int_0^\tau M\{x(t)\} dt = \int_0^\tau P_j^k(i) dt = \tau \cdot P_j^k(i)$$

Вероятность неисправности в фиксированный момент j аппаратов i -го типа можно определить по формуле Бернулли

$$P_j^k(i) = C_k^j P_1^j(i) (1 - P_1(i))^{k-j}, \quad (19)$$

где C_k^j – биноминальный коэффициент.

Вероятность того, что в произвольный момент времени неисправен один аппарат i -го типа $P_1(i)$, можно найти через среднее время неисправности одного аппарата i -го типа:

$$P_1(i) = \frac{\bar{t}_1(i)}{\tau}. \quad (20)$$

Из соотношений (8) – (20) получаем:

$$\bar{t}_j^k(i) = \tau \cdot C_j^k \left(\frac{\bar{t}_1(i)}{\tau} \right)^j \left(1 - \frac{\bar{t}_1(i)}{\tau} \right)^{k-j} = C_j^k \frac{\bar{t}_1^j(i)(\tau - \bar{t}_1(i))^{k-j}}{\tau^{k-1}}. \quad (21)$$

Таким образом, зная среднее время простоя одного аппарата в течение времени τ , можно определить все $t_j^k(i)$ для расчета составляющих функции $\Phi(i, k)$ по формулам (12) и (17), учитывая, что

$$t_j^k(i) = \tau - \bar{t}_j^k(i). \quad (22)$$

Аналогично (12) и (17) можно записать среднюю производительность комплекса $m(i, k)$ за время τ :

$$Q(i) = \sum_{j=1}^k Q_1(i) t_j^k(i) \cdot \min(j, n_i). \quad (23)$$

Это позволяет учитывать в задаче ограничение (6).

Рассмотрим зависимость $\Phi(i, k)$ от параметра k при фиксированном i . Очевидно, представляют интерес значения k при $k \geq n_i$, когда комплекс оборудования может обеспечить заданную производительность системы. С ростом k составляющая $F_k(j, k)$ линейно увеличивается. Функция $M[F_{\text{пот}}(j, k)]$ при этом выпукла вниз и, монотонно убывая, стремится к нулю, а функция $M[F_{\text{эк}}(j, k)]$, монотонно возрастающая, стремится к величине $\Delta = b \cdot \tau \cdot z(i) \cdot n_i$.

Составляющая $M[F_{\text{пем}}(j, k)]$ при $k > n_i$ как видно из выражения (16), не зависит от k . Поэтому сумма всех составляющих $\Phi(i, k)$ без учета $M[F_{\text{эк}}(j, k)]$ является выпуклой вниз функцией от k при любом фиксированном i и, следовательно, одноэкстремальная. С учетом составляющей $M[F_{\text{эк}}(j, k)]$ функция $\Phi(i, k)$ может быть многоэкстремальной, но ее экстремумы различаются на величину, не превышающую Δ .

Поскольку при неограниченном возрастании параметра k неограниченно увеличивается $\Phi(i, k)$, то для нахождения абсолютного минимума $\Phi(i, k)$ при фиксированном i достаточно осуществить последовательный перебор значений $k \geq n_i$ до тех пор, пока очередное значение $\Phi(i, k)$ не превысит минимальное из полученных ранее значений $\Phi(i, k)$ на величину Δ . Найденное значение оптимально при фиксированном i . Для нахождения абсолютного минимума $\Phi(i, k)$ для произвольных i достаточно теперь осуществить перебор всех i и выбрать наилучшее из полученных значений k_0 .

Приведенная методика может быть положена в основу синтеза технологической схемы с учетом системной надежности. Исходные данные для решения задачи можно разбить на две группы – оперативная и нормативная информация. Оперативная информация указывает тип продукции, заданную производи-

тельность системы Q_0 , класс объектов, для которых производится расчет в данном конкретном случае, и определяет подмножество I допустимых типов аппаратов множества S всех возможных типов. Эта информация задается в виде исходных данных или получается предварительным расчетом, определяющим множество допустимых типов аппаратов по параметрам производимой продукции.

Нормативные данные содержат условно-постоянную информацию, характеризующую используемые аппараты и полученную в результате обработки статистических данных о работе оборудования. Нормативная информация не задается перед каждым расчетом, а определяется и корректируется по мере поступления новых данных. К нормативным данным относятся следующие константы и массивы (таблицы данных): константы E_h и b , массивы $F_k(i)$, $z(i)$, $Q(i)$, $S(i)$, $\alpha_0(i)$, $\beta_0(i)$, $T_s(i)$. (Вместо величин $\alpha_0(i)$, $\beta_0(i)$, $T_s(i)$ может быть задано среднее время $\bar{t}_l(i)$ неисправности аппарата за интервал τ). Кроме того, задается таблица стоимости C единицы продукции для всех допустимых видов продукции. Плановый период обычно принимается равным одному году.

Опишем алгоритм решения задачи минимизации $\Phi(m)$ без ограничений при синтезе технологических схем:

1. Ввод оперативной информации.
2. Определение начального приближения для функции $\Phi(i,k)$. Для этого вспомогательный параметр Φ_0 берется максимально большим $\Phi(m) \rightarrow \infty$.
3. Выбирается очередное значение i из множества I .
4. Задается начальное приближение функции $\Phi(i,k)$ для i -го типа оборудования.
5. Вычисляется t_1 по формуле (23).
6. Рассчитывается $\Delta = \tau \cdot n_i z(i) b_k$.
7. Полагается $k = n_i$.
8. Вычисляется $\Phi(j,k)$ последовательным применением уравнений (15), (21), (22), (12), (16), (17), (10). Если заданы величины $\bar{t}_l(i)$, уравнение (15) не используется.
9. Если $\Phi(j,k) < \Phi_0^i$, то величина Φ_0^i считается равной $\Phi(j,k)$ и запоминается $k_0^i = k$, иначе – к пункту 10.
10. Если $\Phi(j,k) \geq \Phi_0^i + \Delta$, переходим к пункту 12, иначе – к пункту 11.
11. Полагается $k = k + 1$. Переходим к пункту 8.
12. Если $\Phi_i^0 < \Phi_0$, то $\Phi_0 = \Phi_i^0$ и определяется значение пары $(i_0, k_0) = (i, k_0^i)$, иначе – к пункту 13.

13. Если проанализированы не все элементы подмножества I , то переходим к пункту 3, иначе – к пункту 14.

14. Конец работы алгоритма. Результатом работы служат полученные оптимальные значения i_0 , k_0 , F_0 .

Приведенный алгоритм решает в рамках системы менеджмента качества химической продукции проблему рационального синтеза химико-технологических схем с учетом надежности их элементов и ее влияния на качество системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.Д. Управление качеством / А.Д. Никифоров. М.: ДРОФА, 2004. – 720 с.
2. Дворецкий С.И., Кормильцин Г.С., Королькова Е.М. Основы проектирования химических производств. Тамбов: ТГТУ, – 1999. – 183 с.
3. Кафаров В.В., Ветохин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств, М.: Химия. – 1987. – 180 с.
4. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. – М.: Химия. – 1989.– 230 с.. ГИАБ

Коротко об авторах

Беккер В.Ф. – кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского государственного технического университета, bekker@bf.pstu.ac.ru

Плехов П.В. – ассистент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского государственного технического университета, ведущий разработчик информационной системой управления НИРС, opim@rambler.ru

Затонский А.В. – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского государственного технического университета, zxenon@narod.ru



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

Галкин В.И., Шешко Е.Е.

Транспортные машины. – М.: издательство «Горная книга». – 2010, 588 с.

Рассмотрены вопросы теории, расчета и выбора параметров транспортного оборудования, используемого на подземных и открытых горных предприятиях. Описаны конструкции современных высокопроизводительных транспортных машин цикличного и непрерывного действия. Уделено внимание вопросам перегрузки с одного вида транспорта на другой и механическому оборудованию, применяемому на перегрузочных комплексах. Рассмотрены достижения отечественной и мировой науки и техники в области транспортных машин.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование».