

## ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ В ЭКСТРУЗИОННЫХ МАШИНАХ

Р. Н. ЛЮБЛИНСКИЙ, Н. М. ОСКОРБИН

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Экструзионные червячные машины (ЭЧМ) нашли широкое применение для наложения резиновых оболочек на жилы и кабельные заготовки. Однако многие конструктивные параметры ЭЧМ выбраны исходя из накопленного опыта и оптимальность их не имеет должного обоснования.

При решении оптимизационной задачи наиболее трудным и неформализованным этапом является выбор критерия эффективности работы объекта оптимизации. Проблема выбора критерия оптимальности должна ставиться следующим образом: выбрать критерии эффективности оптимизируемого устройства на основе конкретизации общего критерия эффективности системы, в которую оптимизируемое устройство входит в качестве элемента. Постановка именно такой задачи диктуется тем, что для системы критерий эффективности, как правило, является известным, а для элемента этой системы необходимо найти частный критерий, который более чувствителен к варьируемым параметрам данного элемента и не противоречит общему критерию эффективности для всей системы. Конкретизация общего критерия эффективности осуществляется либо на качественном уровне, либо, если модель по общему критерию известна, аналитически.

В данной работе таким путем осуществляется выбор критерия оптимальности каналов дорнодержателя, являющегося одним из основных узлов ЭЧМ. При этом показываются некоторые вопросы методологии формализованной детализации общего критерия.

Схематическое изображение экструзионной червячной машины для переработки резиновых смесей представлено на рис. 1. Экструдер состоит из червяка 1 и цилиндра 2, образующих червячный процесс, и формирующей головки, состоящей из дорнодержателя 3, дорна 4 и матрицы 5. Сущность процесса экструзии заключается в следующем: резиновая смесь в виде предварительно разогретых лент определенной ширины и толщины подается в загрузочную воронку; вращающийся червяк захватывает матери-

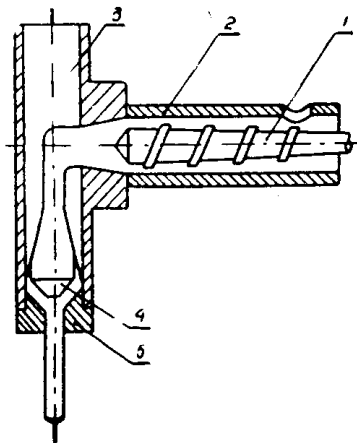


Рис. 1. Схематическое изображение экструдера

ал, гомогенизирует его, уплотняет и подает в экструзионную головку; резиновая смесь проходит по каналам дорнодержателя и через кольцевой зазор между дорном и матрицей, образующих зону формирования, выдавливается в виде монолитной цилиндрической трубки, плотно облегающей жилу или кабельную заготовку, проходящие через внутренний канал дорна.

Общий критерий эффективности ЭЧМ, работающий в сложной технологической схеме, должен быть ориентирован на критерий эффективности всего производства [1]. Детализация критерия эффективности производства до критериев эффективности отдельных аппаратов типа ЭЧМ может быть проведена аналогично детализации критерия эффективности ЭЧМ до критериев эффективности отдельных ее частей и в настоящей работе не рассматривается.

Выберем в качестве критерия эффективности ЭЧМ объемную производительность по экструдированному материалу при ограничениях на качественные показатели выпускаемой продукции, определенных соответствующим ГОСТом [2].

Задача оптимизации конструктивных размеров каналов дорнодержателя  $X$  ставится следующим образом: определить значение вектора  $X^*$ , удовлетворяющего следующим условиям:

$$Q_2(X^*) = \max_X Q_2(X); \quad (1)$$

$$X \in \Omega, \quad (2)$$

где  $\Omega$  — область допустимых размеров в рамках выбранной конструкции дорнодержателя, и ограничению на качество продукции, под которым понимается величина эксцентриситета, то есть

$$\tau \leq R(\varphi) < \tau + \varepsilon, \quad (3)$$

где  $\tau$  — номинальный радиус;

$\varepsilon$  — допустимое изменение радиуса,

$\varphi \in [0, 2\pi]$ .

Для объемной производительности ЭЧМ запишем уравнение материального баланса:

$$Q_2 = Q_n - Q_y, \quad (4)$$

где  $Q_n$  — производительность питающего пресса;

$Q_y$  — поток утечки резиновой смеси у стенок цилиндра.

Согласно работе [3]:

$$Q_n = a \cdot \omega, \quad (5)$$

где  $a$  — константа, характеризующая геометрическую форму червяка и свойства резиновой смеси.

Если рассматривать уравнение течения резиновой смеси в виде степенного закона, то выражения для  $Q_2$  и  $Q_y$  [3] имеют вид:

$$Q_y = \frac{\kappa_1}{\mu_1^{n_1}} \cdot P^{n_1}; \quad (6)$$

$$Q_2 = \frac{\kappa_2}{\mu_2^{n_2}} \cdot P^{n_2}, \quad (7)$$

где  $\kappa_1, \kappa_2$  — константы, характеризующие конструктивные размеры

1) сопряжения цилиндра и червяка;

2) экструзионной головки.

$\mu_1, n_1; \mu_2, n_2$  — величины, характеризующие реологические свойства резиновой смеси:

1) потока утечки;

2) в экструзионной головке;

$\mu_1, \mu_2$  — коэффициенты консистенции;  
 $n_1, n_2$  — индексы течения;  
 $P$  — давление, развиваемое прессом.

Следует заметить, что в данной работе принимается

$$n_1 = n_2,$$

поскольку индекс течения не зависит от режима работы экструдера [3].

Подставляя выражения (5) и (6) в (4), получим

$$Q_2 = a\omega - \frac{\kappa_1}{\mu_1^{n_1}} \cdot P^{n_1}, \quad (8)$$

но из выражения (7) имеем

$$P^{n_1} = \frac{Q_2 \mu_2^{n_1}}{\kappa_2}. \quad (9)$$

Окончательно выражение (8) с учетом (9) можно записать в следующем виде:

$$Q_2 = \frac{a\omega \kappa_2 \mu_2^{n_1}}{\kappa_2 \mu_1^{n_1} + \kappa_1 \mu_2^{n_1}}.$$

Конструктивные размеры каналов дорнодержателя определяют только величину  $\kappa_2$ . Так как  $Q_2$  является монотонно возрастающей функцией от  $\kappa_2$ , то задача оптимизации конструктивных размеров каналов дорнодержателя формулируется уже следующим образом: определить значение вектора  $X^*$ , удовлетворяющего следующим условиям:

$$\kappa_2(X^*) = \max_X \kappa_2(X); \quad (10)$$

$$X \in \Omega; \quad (11)$$

$$\tau \leq R(\varphi) < \tau + \varepsilon. \quad (12)$$

Коэффициент формы головки  $\kappa_2$  зависит как от конструктивных размеров каналов дорнодержателя, так и от размеров зоны формирования. Данная зависимость запишется в следующем виде [3]:

$$\frac{\mu_2}{\kappa_2^{1/n}} = \frac{\mu_k}{\kappa_k^{1/n}} + \frac{\mu_3}{\kappa_3^{1/n}}. \quad (13)$$

Учитывая, что коэффициент формы  $\kappa > 0$  и  $n > 1$ , можно записать в области положительных действительных значений:

$$\kappa(X^*) = \max_X \kappa(X) \rightarrow \kappa^{1/n}(X^*) = \max_X \kappa^{1/n}(X); \quad (14)$$

$$\kappa^{1/n}(X^*) = \max_X \kappa^{1/n}(X) \rightarrow \kappa^{-1/n}(X^*) = \max_X \kappa^{-1/n}(X). \quad (15)$$

Тогда согласно выражениям (14) и (15), из формулы (13) вытекает следующее выражение при предположении, что  $\kappa_3 = \text{const}$ :

$$\kappa_2(X^*) = \max_X \kappa_2(X) \rightarrow \kappa_k(X^*) = \max_X \kappa_k(X).$$

Заметим, что ограничения на вектор  $X$  сохраняются. Рассмотрим теперь поведение ограничения на толщину резиновой оболочки. Равномерность потока, по периметру выпрессованной оболочки, определяется равномерностью распределения давления, что позволяет заменить ограничения (12) на ограничения, связанные с неравномерностью давления по периметру:

$$S^2 = \sum_{i=1}^N (P_{ii} - P_{1cp})^2 < S_0^2, \quad (16)$$

где  $P_{1i}$  — измеренное значение давления по периметру на входе в зону формирования;

$$P_{1\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{1i} \text{ — среднее значение давления;}$$

$N$  — число точек съема давления;

$S_0^2$  — значение, индуцированное величиной  $\varepsilon$  из ограничения (12).

Вид функциональной зависимости между  $\varepsilon$  и  $S_0^2$  определяется размерами зоны формирования, которые берутся такими же, как и в общей постановке задачи оптимизации. Эта зависимость может быть получена статистическим путем.

Окончательно задача оптимизации конструктивных параметров каналов дорнодержателя ставится следующим образом: определить значение вектора  $X^*$ , такое, чтобы удовлетворялись условия:

$$\kappa_k(X^*) = \max_X \kappa_k(X); \quad (17)$$

$$X \in \Omega; \quad (18)$$

$$S^2 < S_0^2. \quad (19)$$

Решение задачи оптимизации (17—19) может быть осуществлено аналитически, либо статистическими методами теории планирования эксперимента. В последнем случае критерий оптимальности  $\kappa_k$  подсчитывается на основе экспериментальных данных по формуле:

$$\kappa_k(X) = \frac{Q_2 \mu_2^2}{(P - P_{1\text{ср}})^n},$$

а измерение ограничений осуществляется по формуле (16).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Добкин. Выбор экономических критериев оптимизации режимных и конструктивных параметров реакторов. «Химическая промышленность», 1968, № 3.
2. Экономическая оценка машин для переработки пластмасс. Под редакцией Чиркова В. Г. М., «Машиностроение», 1968.
3. Р. В. Торнер. Основные процессы переработки полимеров, М., «Химия», 1972.