

*И.В. Новицкий, д-р техн. наук; В.В. Слесарев, д-р техн.; О.А. Омелянчук.  
(Украина, Днепродзержинск, Национальный горный университет)*

### СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОСТАДИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Наиболее объективно эффективность функционирования технологической линии можно оценить экономическими критериями. Например, при проектировании может ставиться задача обеспечения минимума удельных эксплуатационных расходов при ограничениях на производительность и качество готовой продукции. При создании сложных технологических структур, работающих в условиях действия случайных факторов, решение подобных задач не очевидно и может быть получено только на основе комплексного системного подхода.

Задача создания технологической линии в общем случае сводится к трем этапам:

4. - разработке конструкции отдельных аппаратов технологической линии;

- выбору состава аппаратов линии из имеющегося ряда (чаще всего по производительности) и соединению их в единую структуру;

- оперативному управлению технологической линией.

К сожалению, перечисленное часто рассматривают как обособленную задачу, что не позволяет выполнить оптимизацию процесса создания технологии по глобальному критерию. Поэтому рассмотрим упрощенную двухстадийную структуру (рис. 1), характерную для целого ряда отраслей промышленности: химической, горнорудной, пищевой и т.д.

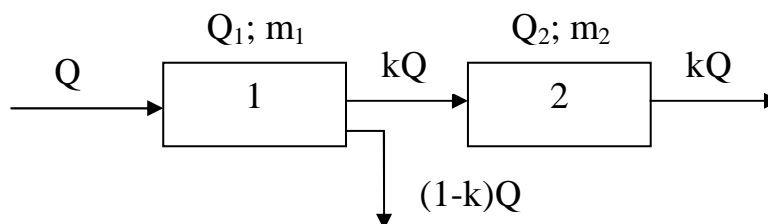


Рис.1. Упрощенная двухстадийная структура технологической линии

На вход линии поступает поток материала  $Q$  [т/ч], который необходимо подвергнуть определенной переработке по двухстадийной схеме. На первой стадии (блок 1) кроме преобразования качественных характеристик потока происходит его разделение на две части  $kQ$  и  $(1-k)Q$  по определенному признаку. Значение коэффициента разделения ( $0 \leq k \leq 1$ ) зависит от характеристик исходного потока материала  $Q$ . Аппараты первой и второй стадий характеризуются предельной пропускной способностью  $Q_1$  и  $Q_2$  [т/ч] (обычно это такая производительность, при которой не происходит недопустимых потерь качества), а также эксплуатационными расходами  $R_1$  и  $R_2$  [грн/ч]. Чем больше произ-

водительность аппарата, тем выше эксплуатационные расходы. Упрощенно будем предполагать линейную связь между параметрами, т.е.

$$\begin{aligned} R_1 &= Q_1 m_1 ; \\ R_2 &= Q_2 m_2 . \end{aligned}$$

Коэффициенты пропорциональности  $m_1$  и  $m_2$  [грн/ч] имеют смысл удельных эксплуатационных расходов при максимальной производительности. Величина этих коэффициентов отражает эффективность конструкции соответствующих аппаратов.

Пусть в упрощенной постановке задачи критерием эффективности являются суммарные удельные эксплуатационные расходы при следующих ограничениях на производительность аппаратов первой и второй стадий:

$$\begin{aligned} I &= \frac{R_1}{Q} + \frac{R_2}{kQ} = \frac{Q_1 m_1}{Q} + \frac{Q_2 m_2}{kQ} \rightarrow \min ; \\ Q &\leq Q_1 ; \\ kQ &\leq Q_2 . \end{aligned} \tag{1}$$

Несмотря на простую структуру задача (1) указывает на связь между тремя этапами создания технологической линии: разработку конструкции аппаратов, проектирование линии и оперативное управление ею. Оптимизация конструкции аппаратов состоит в минимизации  $m_1$  и  $m_2$ ; оптимизация при проектировании – в выборе соотношения между  $Q_1$  и  $Q_2$  (или в выборе  $Q_2$  при заданном  $Q_1$ ); оптимизация оперативного управления заключается в определении  $Q$ .

Выполним анализ задачи (1). Очевидно, что оптимальное значение  $Q$  определяется как

$$Q^{opt} = \min\left\{Q_1; \frac{Q_2}{k}\right\}.$$

Если значение  $k$  известно и постоянно, то задача выбора соотношения между  $Q_1$  и  $Q_2$  также имеет очевидное решение:

$$Q_2^{opt} = kQ_1^{opt}.$$

Значит для постоянного  $k$  решение задачи (1) следующее:

$$Q^{opt} = Q_2^{opt} = kQ_1^{opt}.$$

Однако в реальных условиях коэффициент деления  $k$  является случайной величиной, распределенной по определенному закону в интервале от 0 до 1. Обычно закон распределения  $k$  зависит от качественных свойств входно-

го потока перерабатываемого материала  $Q$ . В этом случае критерий I также случайная величина и задача (1) имеет вид:

$$M(I) = M\left(\frac{Q_1 m_1}{Q} + \frac{Q_2 m_2}{kQ}\right) \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$Q \leq Q_1;$$

$$kQ \leq Q_2 .$$

где  $M(\cdot)$ - оператор математического ожидания;  $k$  – случайная величина с известной плотностью распределения;  $m_1, m_2, Q_1$  - постоянные параметры.

Найти точное аналитическое решение задачи (2) в общем случае нельзя. Ее можно решить приближенно методом статистических испытаний, который является универсальным и успешно применяется для оптимизации более сложных многостадийных структур. Приближенно задачу (2) можно решить, основываясь на следующем выводе: чем более дорогостоящий технологический передел (чем больше  $m_i, i = 1, 2$ ), тем больше он должен быть загружен. Тогда

$$Q_2^{opt} = kQ_1,$$

где  $k^*$  определяется из условия

$$\int_0^{k^*} f(k) dk = \frac{m_1}{m_1 + m_2} .$$

Функция распределения случайной величины  $k$  представлена на рис.2.

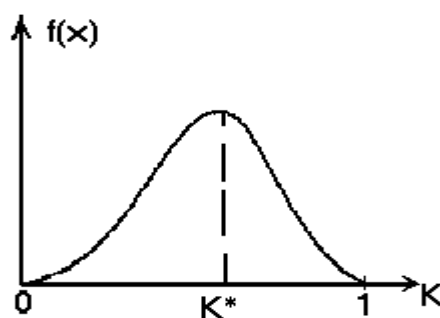


Рис.2. Плотность распределения случайной величины  $k$

Стратегия оперативного управления потоком  $Q$  такая же, как и для постоянного  $k$ .

Таким образом, рассмотренная задача отображает связь между различными этапами создания технологических линий, а оптимизация этого процесса по глобальному объективному критерию возможна только на основе комплексного системного подхода при проектировании.