

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.21

А.С.Сорокин

О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ

В данной работе предлагается общий подход к выбору оптимальных параметров оборудования, применяемого при дальнем гидротранспорте, и оптимальных параметров самого процесса транспортирования.

Основной задачей при проектировании является получение либо минимальных суммарных относительных удельных затрат с учетом амортизационных отчислений; связанных с абразивным износом трубопровода и оборудования [1], либо максимальной экономии металла при капитальных минимальных затратах на сооружение трубопроводов и минимальных издержках на их эксплуатацию [2], либо полной максимальной прибыли при работе системы в целом в течение, например, года с учетом надежности системы и затрат на ее эксплуатацию [3].

В работах [4, 5] для оперативного определения оптимальных режимов работы системы транспортирования в качестве критерия предлагается минимум удельной энергоемкости транспортирования (величины удельных затрат энергии на транспортирование одной тонны твердого материала на расстояние одного километра по трубопроводу заданного диаметра).

Нам представляется искусственным разделение выбора оптимальных параметров процесса транспортирования и выбора оптимальных параметров оборудования. Более естественным является построение совместной модели транспортирования, сущность которой составляют четыре взаимосвязанные между собой задачи нелинейного программирования.

Опишем конструктивное построение этой модели.

Входные параметры модели: необходимая производительность системы транспортирования Q , протяженность транспортирования L , топология трассы транспортирования ($h_i, l_i, i = \overline{1, P}$), вектор экономической информации q_1 , вектор информации о надежности q_2 , вектор технологической информации q_3 , вектор гидравлической информации q_4 , вектор прочностной информации q_5 .

Выходные параметры модели: P - оптимальное число перекачивающих станций;

$(x_i, i = \overline{1, P})$ – оптимальные напоры на каждой станции; Q_i - оптимальные производительности одного агрегата на каждой станции; n_i - оптимальное число рабочих агрегатов; m_i - оптимальное число резервных агрегатов; z_i - оптимальное (ожидаемое) число агрегатов, находящихся в ремонте, на каждой перекачивающей станции; V - оптимальная скорость транспортирования гидравлической смеси; d - оптимальный диаметр трубопровода; δ - оптимальная толщина стенок труб; S - объемная оптимальная концентрация пульпы.

В результате проигрывания модели получаем: координаты размещения перекачивающих станций вдоль трассы транспортирования ($h_i, l_i, i = \overline{1, P}$); коэффициенты готовности перекачивающих станций ($K_{\Gamma}^i, i = \overline{1, P}$); полную прибыль при работе системы транспортирования в целом с учетом надежности и затрат на её эксплуатацию D' ; приведенные затраты, учитывающие капитальные вложения, эксплуатационные расходы и коэффициент эффективности $C'_1 + EK$ общую мощность, потребляемую системой транспортирования W .

Укрупненная блок-схема алгоритма поиска оптимальных параметров оборудования и процесса транспортирования при дальнем гидротранспорте представлена на рис. 1 (прямоугольниками изображены подсистемы, каждая из которых имеет внешние входы и потоки компонентов из всех остальных подсистем; из каждой подсистемы выходят компоненты, направляемые во все подсистемы и внешние выходы).

Приступим к детализации общей топологической структуры системы транспортирования, выделяя из общей схемы каждую из четырех подсистем.

Подсистема резервирования цепи транспортирования (Первая подсистема)

Математическая модель подсистемы резервирования цепи транспортирования содержит следующие функциональные ограничения:

$$a_i m_i + b_i r_i \leq C_i, \quad i = \overline{1, P},$$

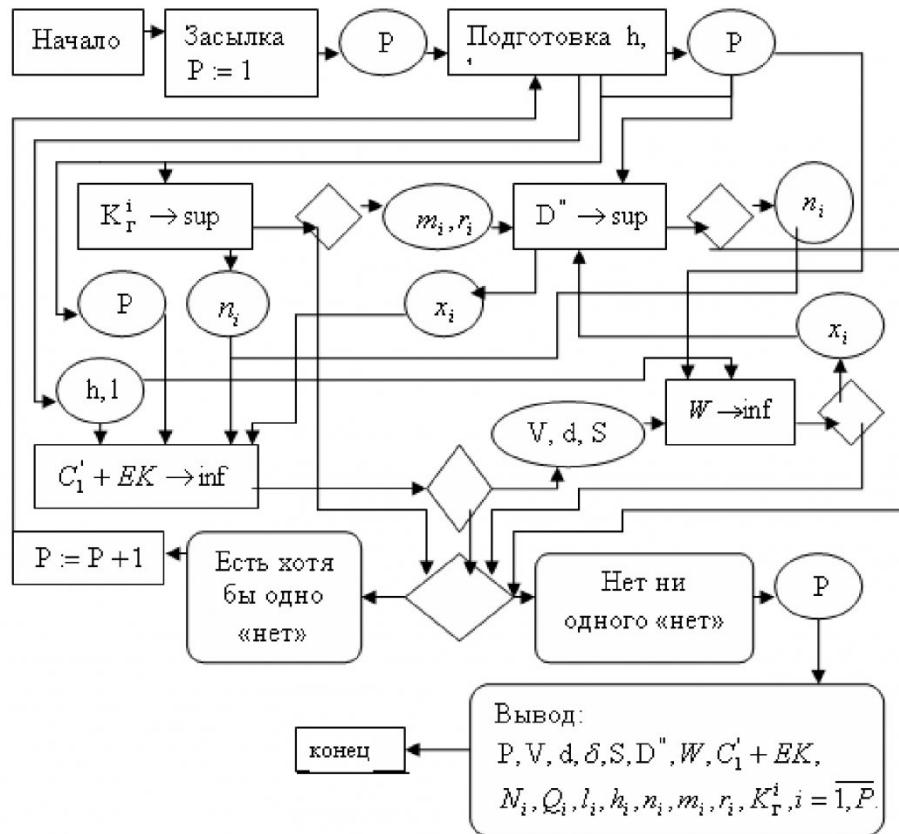


Рис. 1. Информационная блок – схема алгоритма определения оптимальных параметров оборудования и процесса транспортирования

где a_i, b_i, C_i - компоненты q_1 .

Целевой функцией для подсистемы резервирования является коэффициент готовности .

$$K_{\Gamma}^i(n_i, m_i, r_i) = \left[I + \frac{1}{r_i \rho_2^i \sum_{k=0}^{m_i} \alpha_k(m_i, r_i) \rho_i^k} \right]^{-1},$$

причем

$$\rho_i = \frac{\mu^i}{(\lambda^i + \lambda_n^i + \mu_n^i)n_i}, \quad \rho_2^i = \frac{\mu^i + \mu_n^i}{n_i(\lambda^i + \lambda_n^i)},$$

где $\lambda^i, \lambda_n^i, \mu^i, \mu_n^i$ – компоненты вектора q_2 .

Кроме того, $a_k(m_i r_i)$ равно r^k при $0 \leq k < m - r$ и равно $\frac{r!}{(m-k)!} r^{m-k}$ при $m - r \leq k \leq m$.

В заключение отметим, что величины m_i и $r_i \geq 0$ имеют целочисленные значения.

На рис. 2-4 представлены результаты моделирования подсистемы резервирования цепи транспортирования - зависимости коэффициента готовности как от числа рабочих углесосов, так и от числа углесосов, находящихся в ремонте, представляемые формулами:

$$K\Gamma = \frac{r(24n + 5r)}{92n^2 + 24nr + 5r^2};$$

$$K\Gamma = \frac{(24n)^{m+1} - 5^{m+1}}{0.17 \cdot 24^m n^{m+1} (552n + 29) - 5 \cdot 5^m};$$

$$K\Gamma = \frac{r((5r)^{m+1} - 24^{m+1})}{5 \cdot 5^m r^{m+2} - 24^m (4,83r + 92)}.$$

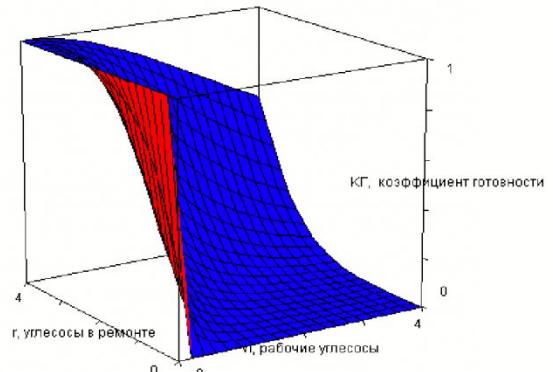


Рис.2. Зависимость коэффициента готовности, как от числа рабочих углесосов, так и от числа углесосов, находящихся в ремонте

Подсистема процесса транспортирования при дальнем гидротранспорте (Вторая подсистема)

Рассмотрим ограничения, входящие в состав математической модели подсистемы процесса транспортирования при дальнем гидротранспорте.

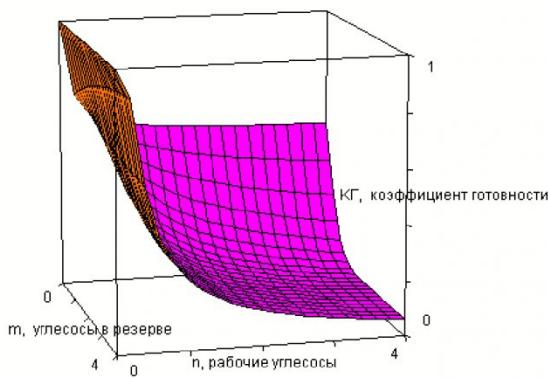


Рис.3. Зависимость коэффициента готовности, как от числа рабочих углесосов, так и от числа углесосов, находящихся в резерве

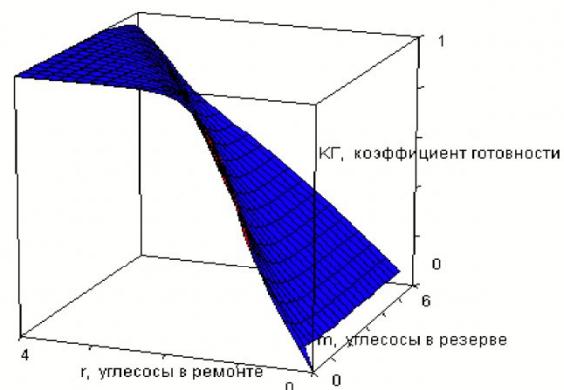


Рис.4. Зависимость коэффициента готовности, как от числа углесосов, находящихся в ремонте, так и от числа углесосов, находящихся в резерве

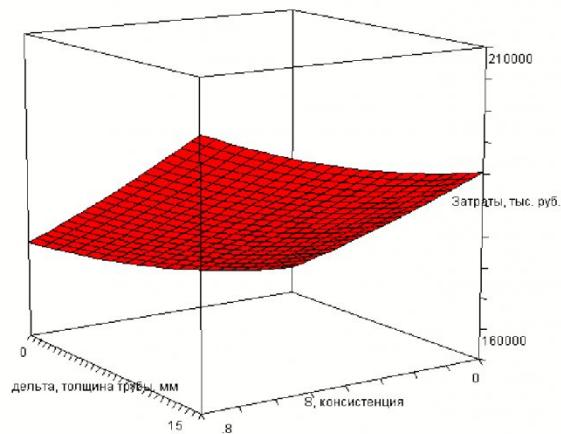


Рис.5. Зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от толщины трубопровода

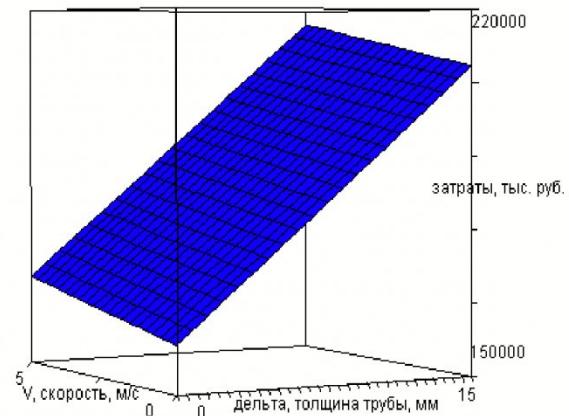


Рис.6. Зависимость приведенных затрат от скорости течения пульпы и от толщины трубопровода

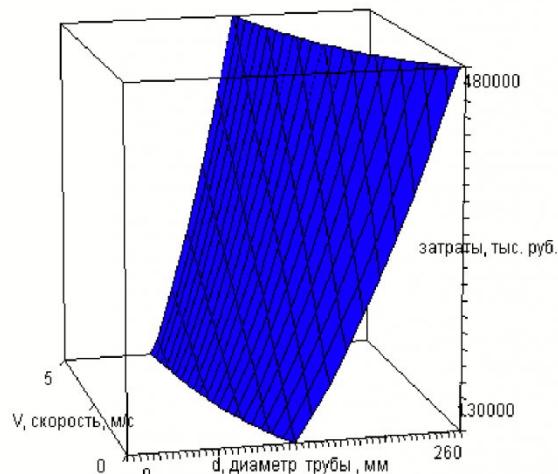


Рис.7. Зависимость приведенных затрат от скорости течения пульпы и от диаметра трубопровода

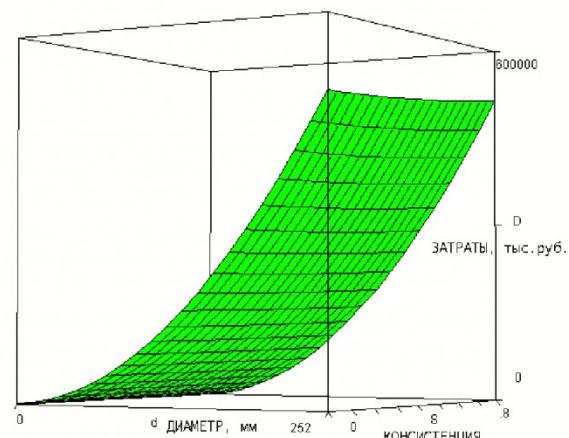


Рис.8. Зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от диаметра трубопровода

Пропускная способность системы в целом по твердому топливу (выход готовой продукции)

$$\pi d^2 VS \geq 4Q_T,$$

где Q_T - нормативно обоснованное (технологически возможное) задание по выпуску готовой про-

дукции.

Пропускная способность системы по пульпе

$$\pi d^2 VS \geq 4Q_T,$$

причем Q - необходимая производительность системы транспортирования.

Ограничение общему износу трубопровода:

$$dV^n \leq f,$$

где f - компонента вектора q_3 [6].

Предположение о безаварийном течении процесса транспортирования приводит нас к неравенству (исключение забучивания трубопровода)

$$V^6 \geq Fd^2S,$$

причем F - компонента вектора q_4 .

Ограничения по прочности трубопровода:

$$dH_i^H \leq 1.635\sigma_T^i\delta, \quad i = \overline{1, P},$$

где H_i^H и σ_T^i - компоненты векторов q_4 и q_5 .

Помимо функциональных ограничений имеются позиционные ограничения:

на объемную концентрацию пульпы:

$$0.12 \leq S \leq 0.8,$$

на скорость транспортирования пульпы;

$$V \leq 5.$$

Величины d и δ задаются в виде соответствующих дискретных рядов.

Целевая функция для подсистемы процесса транспортирования представляет собой приведенные затраты, учитывающие капитальные вложения в систему и её эксплуатационные расходы:

$$\begin{aligned} D(S, V, d, \delta) = C'_1 + EK = & \\ & B_1 d^2 V S^2 + B_2 d^2 V S + B_3 d^2 V + \\ & B_4 d^2 V (1 - S) + B_5 d V^n + B_6 L \delta (d + \delta) + \\ & B_7 d^2 L + B_8 d L + B_9 L + \frac{B_{10} L}{d + B_{11}} + \\ & \sum_{i=1}^p n_i [B_{12}^i V^{1/4} d^{3/4} + B_{13}^i S d^{5/4} V^{-1/4} + \\ & B_{14}^i S V^{1/4} d^{3/4} + B_{15}^i S^2 d^{5/4} V^{-1/4}]. \end{aligned}$$

В этом соотношении $B_j, B_j^i, j = \overline{12, 15}$ яв-

ляются компонентами векторов q_1, q_3 .

Результаты моделирования процесса транспортирования

На рис. 5 представлена зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от толщины трубопровода:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & 1,35 \cdot 10^4 s^2 + 3375s + 10,5\delta^2 \\ & + 1575\delta + 1,64 \cdot 10^5. \end{aligned}$$

На рис. 6 - зависимость приведенных затрат от скорости течения пульпы и от толщины трубопровода:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & 16,5V^{1.4} + 3303V + 10,7\delta^2 \\ & + 1620\delta + 1,6 \cdot 10^5. \end{aligned}$$

На рис. 7 - аналогичная зависимость от скорости течения пульпы и от диаметра трубопровода:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & \frac{37}{d + 20} + d^2(3,2V + 7) + \\ & + d(0,1V^{1.4} + 83,8) + 519. \end{aligned}$$

На рис. 8 представлена зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от диаметра трубопровода:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & \frac{37}{d + 20} + \\ & d^2(0,6 s^2 + 0,15s + 7,23) + 84,8d + 519. \end{aligned}$$

На рис. 9 - зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от скорости транспортирования пульпы:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & 2700s^2V + 675sV + \\ & 16,5V^{1.4} + 1035V + 1,7 \cdot 10^5. \end{aligned}$$

На рис. 10 аналогичная зависимость от толщины и от диаметра трубопровода:

$$\begin{aligned} C'_1 + EK = & \frac{37}{d + 20} + 7,7d^2 + \\ & d(10,5\delta + 11,3) + 10,5\delta^2 + 4,5. \end{aligned}$$

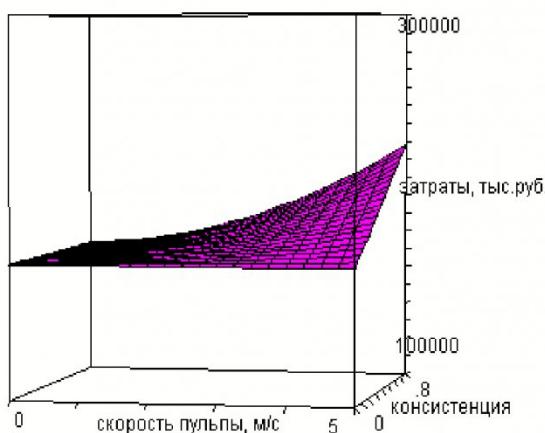


Рис. 9. Зависимость приведенных затрат от консистенции пульпы и от скорости транспортирования пульпы

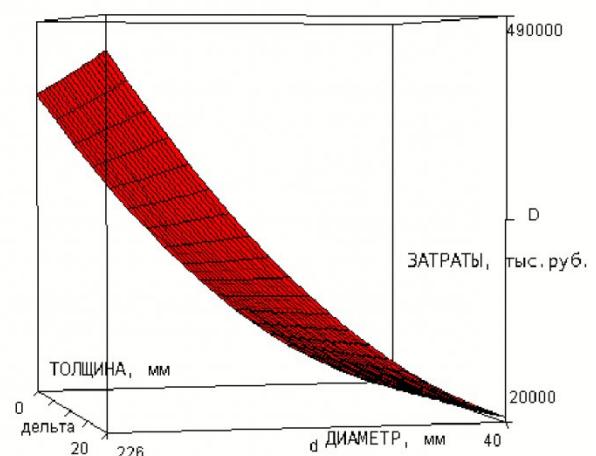


Рис.10. Зависимость приведенных затрат от толщины и от диаметра трубопровода

Подсистема функционирования системы дальнего гидротранспорта (Третья подсистема)

Математическая модель функционирования системы дальнего гидротранспорта имеет следующие ограничения:

$$1 \leq n_i \leq N_i^0 - m_i - r_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Величина N_i^0 - максимальное число устанавливаемых агрегатов на i -й перекачивающей станции. Кроме того, величины принимают натуральные значения.

Для этой подсистемы целевой функцией будет полная прибыль при работе системы транспортирования в целом с учетом надежности и затрат на ее эксплуатацию:

$$D'' = D'_1 \sum_{i=1}^P a_i n_i K_\Gamma - B'_1 \sum_{i=1}^P a_i n_i (1 - K_\Gamma) - \sum_{i=1}^P a_i m_i - \sum_{i=1}^P b_i r_i,$$

причем

$$K_\Gamma = \prod_{i=1}^P K_\Gamma^i(n_i, m_i, r_i).$$

Кроме того, величины D'_1 и B'_1 - компоненты векторов q_1 и q_3 .

Подсистема распределения напоров вдоль трассы транспортирования (Четвертая подсистема)

Эта подсистема представляет собой математическую модель распределения напоров вдоль трассы транспортирования с несколькими перекачивающими станциями.

Модель содержит систему функциональных ограничений в виде двойных неравенств:

$$A_i \leq \sum_{j=1}^i x_j \leq B_i, \quad i = \overline{1, P},$$

где

$$A_i = H_{i+1}^n - H_0 + \sum_{j=1}^i H_j^T,$$

$$B_i = H_i^H - H_0 + \sum_{j=1}^{i-1} H_j^T,$$

причем H_0, H_i^n, H_i^H - компоненты вектора q_4 .

Кроме того,

$$H_j^T = \frac{\gamma_n}{\gamma_0} \left(h_j + \frac{\lambda V^2}{2gd} l_j \right),$$

где h_j, l_j - координаты размещения перекачивающих станций, а остальные величины, входящие в эту формулу, являются компонентами вектора q_4 .

Далее, может быть полезно соотношение:

$$K_\Gamma = 1 + \frac{(\gamma_n - \gamma_0)^{1.2}}{\gamma_0}.$$

Целевая функция подсистемы представляет собой общие затраты мощности, потребляемой всей системой транспортирования. Эта функция имеет различные представления в зависимости от типа гидравлических машин, применяемых для транспортирования полезного ископаемого.

В случае применения лопастных машин целевая функция принимает вид:

$$W = \sum_{i=1}^P \frac{\gamma_n n_i}{102 \cdot \eta_i} x_i \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^i a_j' - \frac{x_i}{K_\Gamma}}{\sum_{j=1}^i b_j'}},$$

где h_i - коэффициент полезного действия гидравлических машин, а величины a_j' и b_j' - компоненты вектора q_4 .

В случае применения поршневых машин целевая функция имеет вид:

$$W = \sum_{i=1}^P \frac{\gamma_n Q}{102 \cdot \eta} x_i$$

Подсистема определения производительности одного агрегата, на каждой перекачивающей станции представляет собой соотношение:

$$Q_i = \frac{Q}{n_i}, \quad i = \overline{1, P}.$$

Подсистема подготовки информации о размещении перекачивающих станций вдоль трассы транспортирования описывается с помощью метода Шухова [7-9].

От моделей подсистем можно перейти к модели дальнего гидротранспорта в целом. Это означает, что моделью дальнего гидротранспорта становится совокупность моделей подсистем. Кроме того, нужно еще к этой совокупности присоединить ограничения, описывающие систему в целом.

Рассмотрим эти ограничения. Отметим, что каждая из первых четырех подсистем представляет собой самостоятельную задачу математического (нелинейного) программирования с различными целевыми функциями. Каждая из этих задач может иметь и может не иметь решения. Разрешимость задачи в целом существует только при условии разрешимости всех частных задач нелинейного программирования.

Далее, выходы отдельных подсистем являются одновременно входами для других подсистем. Отождествление некоторых входов и выходов различных подсистем порождает ограничения материального баланса потока.

В качестве критерия оптимальности для выбора оптимального числа перекачивающих станций

выбран: найти наименьшее натуральное P , при котором все частные задачи нелинейного программирования системы транспортирования разрешимы одновременно.

Математическая постановка задачи: необходимо минимизировать функцию затрат F на технологической схеме.

$$F = \sum_{k=0}^{m-2} \sum_{i=1+p_k^1}^{p_{k+1}^1} \sum_{j=1+p_{k+1}^1}^{p_{k+2}^1} c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

где c_{ij} - затраты на j -е звено технологии, x_{ij} - альтернативный коэффициент, принимающий значения 0 или 1.

Ограничения на надежность:

$$\sum_{k=0}^{m-2} \sum_{i=1+p_k^1}^{p_{k+1}^1} \sum_{j=1+p_{k+1}^1}^{p_{k+2}^1} \ln K_{ij} x_{ij} \geq \ln K, \quad (2)$$

где K - предельный уровень надежности, K_{ij} - надежность j -го звена технологической схемы.

Ограничения на технологические факторы (например, водоснабжение):

$$\sum_{k=0}^{m-2} \sum_{i=1+p_k^1}^{p_{k+1}^1} \sum_{j=1+p_{k+1}^1}^{p_{k+2}^1} \ln Q_{ij} x_{ij} \leq \ln Q, \quad (3)$$

где Q - предельный уровень технологического фактора, Q_{ij} - технологический фактор j -го звена технологической схемы.

Единственность перехода (единственность выбора одного из p_{k+1} вариантов звеньев) от одного типа технологических процессов к другому обеспечивается условием:

$$\sum_{i=1+p_k^1}^{p_{k+1}^1} \sum_{j=1+p_{k+1}^1}^{p_{k+2}^1} x_{ij} = 1, \quad k = \overline{0, m-2}. \quad (4)$$

Неразрывность технологической цепи:

$$\sum_{i=1+p_k^1}^{p_{k+1}^1} x_{ij} = \sum_{j=1+p_{k+1}^1}^{p_{k+2}^1} x_{ij}, \quad j = \overline{1 + p_{k+1}^1, p_{k+2}^1}; \\ k = \overline{0, m-3}. \quad (5)$$

Принадлежность к заданному графу определяется условиями:

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \text{для } (i, j) \in \Gamma, \quad (6)$$

$$x_{ij} = 0 \quad \text{для } (i, j) \in C_S \Gamma. \quad (7)$$

В такой постановке задача отыскания оптимальной технологии сведена автором к классической задаче линейного целочисленного программирования.

Необходимо отметить, что ограничения (2) и (3) являются характерными для определенного класса задач, они могут отсутствовать или по одному или оба одновременно.

Постановка задачи допускает введение дополнительных ограничений (характерных только для данной конкретной задачи); наличие же условий (4) - (7) является обязательным при постановке

каждой задачи линейного целочисленного программирования.

В последнее время получил развитие метод отыскания решений задачи целочисленного программирования, обладающий по сравнению с вышеописанными методами, большей быстротой сходимости - метод вектора спада [10] (см. также [12]). Сущность этого метода состоит в следующем.

Рассмотрим множество Mq векторов вида

$$z = \left(z_1, z_q \right)$$

где $z_p, p = \overline{1, q}$, - целые числа.

Расстояние между произвольными элементами

$$z^{(1)} = \left(z_1^{(1)}, z_q^{(1)} \right) \text{ и } z^{(2)} = \left(z_1^{(2)}, z_q^{(2)} \right)$$

множества Mq определим таким образом:

$$r(z^{(1)}, z^{(2)}) = \sum_{p=1}^q |z_p^{(1)} - z_p^{(2)}|. \quad (8)$$

Нетрудно доказать, что величина $r(z^{(1)}, z^{(2)})$ удовлетворяет аксиомам расстояния.

Таким образом, множество Mq можно рассматривать как метрическое пространство с метрикой, определяемой по формуле (8).

Окрестностью $L_p(z)$ точки $z \in Mq$ радиуса ρ называем совокупность точек x пространства Mq , удовлетворяющих неравенству $(z, x) \leq \rho$.

Расстояние, определяемое по формуле (8), позволяет сделать вывод о том, что окрестность $L_p(z)$ состоит из точки z и множества точек Mq , отстоящих от нее на расстоянии $1, 2, \dots, [\rho]$ ($[\rho]$ - целая часть числа ρ). Поэтому в дальнейшем можно ограничиться рассмотрением окрестностей целочисленного радиуса.

Пусть множество $R_q \subset Mq$ состоит из точек $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)$, удовлетворяющих условиям (2) - (7). Точку $\bar{z} \in Rq$ назовем точкой локального минимума функции $F(z)$ определенной в области $R_q \subset Mq$, если существует такое $\rho > 0$, что $F(z) \geq F(\bar{z})$ для всех $z \in L_p \cap R_q$ и множество $L_p \cap R_q$ содержит хотя бы одну точку, отличную от \bar{z} .

В качестве вектора спада функции $F(z)$, определенной в области Rq , в некоторой окрестности $L_p(z)$ точки $\bar{z} \in Rq$ рассмотрим вектор

$$R(z) = \left(\Delta(z, z^{(1)}), \Delta(z, z^{(g)}) \right),$$

где $z^{(i)}, i = \overline{1, g}$, - точки множества $L_p \cap R_q$,

отличные от z .

$$\Delta(z, z^{(i)}) = F(z^{(i)}) - F(z), \quad i = \overline{1, g}.$$

Если все

$$\Delta(z, z^{(i)}) \geq 0, \quad i = \overline{1, g},$$

то

$$F(z) = \min_{z_i \in L_p(z) \cap R_q} F(z^{(i)})$$

Если точка $\bar{z} \in R_q$ не является минимумом функции $F(z)$, то при помощи вектора спада $R(z)$ можно найти такую точку $z \subset L_p \cap R_q$, что $F(z^1) < F(z)$, т.е. $\Delta(z, z^1) < 0$.

Алгоритм отыскания экстремального решения задачи по методу вектора спада записывается следующим образом.

Шаг 1. Выбираем начальное приближение

$$z^{(0)} = (z_1^{(0)}, z_2^{(0)}, \dots, z_q^{(0)}) \in R_q.$$

Шаг 2. На каждом очередном $n+1$ -м шаге алгоритма осуществляем следующие действия.

Шаг 2.1. Выбираем радиус r .

Шаг 2.2. Рассмотрим окрестность $L_p(z^{(n)}) \subset M_q$ радиуса r с центром в точке $z^{(n)}$.

Точки множества $L_p(z^{(n)})$ обозначим таким образом:

$$z^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})} = \left(\overline{z_1^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})}, z_q^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})}} \right),$$

$$z_j^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})} = \begin{cases} z_{\rho_1}^{(n)} + m_{\rho_1}, & \text{если } j = \rho_1, \\ z_{\rho_1}^{(n)}, & \text{если } j \neq \rho_1, \end{cases}$$

где $i, \rho_i = \overline{1, q}; \rho_1 < \rho_2 < \dots < \rho_a$,

$$m_{\rho_i} \in \{0, +1, -1, +2, -2, \dots, +\rho, -\rho\};$$

$$i = \overline{1, a}; a = \min(\rho, q). \quad (9)$$

Шаг 2.3. Выбираем одну из точек окрестности $L_p(z^{(n)})$, удовлетворяющую условиям (2)-(7) и

$$\Delta(z^{(n)}, z^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})}) < 0, \quad (10)$$

где

$$\Delta(z^{(n)}, z^{(n, \rho_1, m_{\rho_1} \rho_a, m_{\rho_a})}) = \sum_{i_1=1}^a \left(\sum_{k=0}^{m-2} \sum_{i=p_k^1}^{p_{k+1}^1} \sum_{j=1+p_k^1}^{p_{k+2}^1} c_{ij} (x_{ij} - x_{ij}^{(n)}) \right).$$

Обозначив эту точку через $z^{(n+1)}$, переходим к шагу 2.2. Заметим, что эта точка принадлежит множеству R_q . Это приводит к уменьшению значения целевой функции $F(z)$ по сравнению с ее значением в $z^{(n)}$.

Шаг 2.4. Если ни одна из точек окрестности

$L_p(z^{(n)})$ не удовлетворяет условиям (2) – (7), (10), то при $n \geq 1$ точка $z^{(n)}$ есть искомое решение задачи, а при $n = 0$:

а) $z^{(n)}$ – точка минимума функции $F(z)$, определенной на R_q , если существует хотя бы одна точка окрестности $L_p(z^{(n)})$, отличная от $z^{(n)}$ и удовлетворяющая условиям (2) - (7) одновременно;

б) в противном случае переходим к шагу 1, выбирая другое начальное решение.

В заключение заметим, что оптимизация сложных систем, имеющих контуры с обратными связями, систем с противотоками, какой является предлагаемая совместная модель транспортирования, представляет довольно трудную самостоятельную задачу [11-12].

Перечисленные выше выходные параметры модели составляют так называемое оптимальное компромиссное решение задачи нелинейного программирования с несколькими целевыми функциями. Это решение является оптимальным компромиссом между оптимальными относительно различных целевых функций решениями задач.

Итак, предлагаемый подход позволяет найти не локальные, а глобальный оптимум для параметров оборудования и процесса транспортирования при дальнем гидротранспорте.

Итак, установлено, что возрастание экономической эффективности функционирования (прибыли) обслуживаемой системы возможно при введении резервных элементов в i -ю подсистему. Наряду с увеличением годовых эксплуатационных затрат увеличивается вероятность исправного состояния системы и уменьшается вероятность аварийного простоя.

Предложенный алгоритм был реализован на ЭВМ в математическом пакете DERIVE6.10.

Разработанный метод выбора оптимального резервирования может быть использован при расчетах на надежность любых систем, где необходимо учесть влияние надежности на экономическость.

Разработанная модель позволяет оптимизировать кратность резервирования оборудования технологических блоков водоснабжения и гидравлического подъема.

Построена совместная модель транспортирования. В результате проигрывания её получаем: координаты размещения перекачивающих станций вдоль трассы транспортирования, коэффициенты готовности перекачивающих станций, полную прибыль при работе системы транспортирования в целом с учетом надежности и затрат на ее эксплуатацию, приведенные затраты, учитывающие капитальные вложения, эксплуатационные расходы, коэффициент эффективности и общую мощность, потребляемую системой транспорти-

рования.

На предварительном этапе математического моделирования дальнего гидротранспорта моделью является совокупность моделей подсистем, каждая из которых представляет собой самостоя-

тельную задачу математического (нелинейного) программирования с различными целевыми функциями. Разрешимость задачи в целом существует только при условии разрешимости всех частных задач нелинейного программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровская В.Н., Бойцов В.С. Определение экономической целесообразности параметров гидравлического трубопроводного транспорта //Строительство трубопроводов. №2, 1972, с. 18 -19.
2. Кшиондзер Э.Г. Определение оптимальных параметров магистральных трубопроводов для гидравлического транспорта сыпучих материалов //Строительство трубопроводов. №9, 1972, с. 15-16.
3. Сорокин А.С., Разгильдеев Г.И. Выбор оптимальных параметров процесса транспортирования и оборудования при дальнем гидротранспорте / Труды ВНИИГидроуголь, вып. 35, Новокузнецк, 1975. с. 86 – 94.
4. Спиваковский А.О., Смоловцев А.Е., Зубакин Ю.С. Автоматизация трубопроводного транспорта в горной промышленности. - М.: Недра, 1972. – 343 с.
5. Стажеев Н.А., Витебский В.Я. Анализ и оценка технологических систем на основе теории надежности // Изв. ВУЗов. Горный журнал, № 12, 1966.
6. Силин Н. А., Витошкин Ю.К. Гидротранспорт угля по трубам и методы его расчета. Киев. 1964.
7. Черникин В.И. Перекачка вязких и застывающих нефтей. М., 1958. – 234 с.
8. Яблонский В.С., Новоселов В.Ф., Галлеев В.Б., Закиров Г.З. Проектирование, эксплуатация и ремонт нефтепродуктопроводов. - М.: Недра, 1965. – 323 с.
9. Сорокин А.С. Применение методов теории вероятностей к исследованию некоторых процессов производства. Труды 4-ой междунар. конф. Кибернетика и технологии XXI века. Воронеж, 2003. с. 312-323.
10. Архипова Т.Т., Роцин В.А., Сергиенко И.В. О решении одной задачи целочисленного программирования. Кибернетика, № 1, 1973.
11. Чуев Ю.В., Спехова Г.П. Технические задачи исследования операций. М., 1971. – 223 с.
12. Сорокин А.С. Алгоритм решения систем уравнений Колмогорова (Оценка качества системы) //Вторая Всероссийская научная конф. Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. - М., 2004. с. 389 – 397.

□ Автор статьи:

Сорокин
Андрей Семенович
- канд. физ.-мат. наук, доц.,
ст. научн. сотр. (филиал КузГТУ,
г. Новокузнецк)

УДК 622:272

В.В. Крюкова

НОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ И ПОДСИСТЕМ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

В основе указанного подхода лежит методология имитационного моделирования сложной системы «шахта» на сетях Петри (СП). Под методологией здесь понимаем набор методов, применяемых для описания и исследования процессов и подсистем горного производства угольной шахты, объединенных единой концепцией. Основа концепции – объектно-ориентированный взгляд на процессы сложной производст-

венной системы «шахта» с позиции теории СП.

Метод – определенная процедура создания моделей с помощью четко специфицированных нотаций. Нотация – графический язык для описания и представления моделей процессов и подсистем, в ее основе модифицированные сети Петри.

Исследуемая сложная система «шахта», ее подсистемы и процессы в данной методологии рассматриваются с разных

точек зрения. Результат такого рассмотрения и есть модель подсистемы или процесса.

Формально методологию можно представить набором

$$M = \{\{A, N\}, I\},$$

где A – архитектура (строение) полуформальных моделей с графическими нотациями с учетом объектной ориентированности; N – нотации, используемые для описания конкретных моделей процессов и подсистем; I – инструментальные средства, –