

УДК 621.867.2

П.А. Бажанов

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

Обоснована возможность оценки эффективности работы конвейера по двум техническим критериям – энергоёмкости транспортирования и удельной материалоемкости конструкции конвейера.

Ключевые слова: конвейер трубчатый, экономическая эффективность.

В качестве метода многокритериальной оптимизации конструктивных параметров ленточного трубчатого конвейера используем метод оптимизации по Парето, заключающийся в отборе множества эффективных вариантов одновременно по трем критериям (удельная металлоемкость механической части K_1 , удельный расход конвейерной ленты K_2 и удельная энергоёмкость транспортирования K_3) с последующим дополнительным анализом этих

$K_0 = K_1 + \lambda_2 K_2 + \lambda_3 K_3 \rightarrow \min$ вариантов и сопоставлением их с имеющимся опытом проектирования ЛТК. При этом комплексный критерий оптимальности имеет вид

$$K_0 = K_1 + \lambda_2 K_2 + \lambda_3 K_3 \rightarrow \min, \quad ,$$

где λ_1 и λ_2 – неопределенные множители (множители Лагранжа); K_1, K_2, K_3 – удельные показатели конвейера.

Для определения минимума критерия K_0 необходимо выразить его составляющие через оптимизируемые параметры и заданные эксплуатационные и конструктивные характеристики ЛТК. При этом, очевидно, величины K_1, K_2 и K_3 достаточно определить с точностью до постоянных коэффициентов.

Исходя из логики проектирования ЛТК с заданными длиной L и технической производительностью Q_T , в качестве оптимизируемых конструктивных параметров ЛТК рассмотрим ширину ленты B_x (или скорость движения ленты v_x), шаг установки роlikоопор l_p' на грузовой ветви (на порожней нерабочей ветви он обычно принимается двукратным), диаметр роликов D_p .

Нами обобщены данные о зависимости от различных факторов основных составляющих общей силы сопротивления движению ленты на единичной роlikоопоре U_p ленточного трубчатого конвейера: силы сопротивления вращению роликов, силы сопротивления от вдавливания роликов в ленту и силы сопротивления от деформирования груза и ленты в пролете между роlikоопорами.

Суммарные сопротивления движению на грузовой и порожняковой ветвях, а также тяговое усилие, развиваемое приводом конвейера, равны:

$$\begin{aligned}
W_{\Gamma} &= \left[\frac{U'_p}{l'_p} + (q_z + q_a) \sin \beta \right] L, H, \\
W_{II} &= \left(\frac{U''_p}{2l'_p} - q_a \sin \beta \right) L, H, \\
W_0 &= \left[\frac{1}{l'_p} \left(U'_p + \frac{1}{2} U''_p \right) + q_z \sin \beta \right] L, H,
\end{aligned} \tag{1}$$

где β - угол наклона конвейера; q_{Γ} , q_{Π} - погонный вес груза и ленты; l' - расстояние между роlikоопорами на грузовой ветви, м; $l'' = 2l'$.

Для силы U_p с использованием эмпирических выражений и при применении резинотканевой ленты получено следующее выражение

$$\begin{aligned}
U'_p &= \frac{1,9}{D_p} (1 + 0,2g_a) \psi(\theta) + 1,37 \varphi(\theta) \left(\frac{Z}{E'_k D_p^2} \right)^{1,3} \cdot B_a^{-0,4} [(q_z + q_a) l'_p \cos \beta]^{1,23} + \\
&+ 7,11 \cdot 10^{-10} [(q_z + q_a) l'_p \cos \beta]^{2,6} (1 + 0,344g_a^2), H,
\end{aligned} \tag{2}$$

- при применении резинотросовой ленты эта сила равна

$$\begin{aligned}
U'_p &= \frac{1,9}{D_p} (1 + 0,2g_a) \psi(\theta) + 1,37 \varphi(\theta) \left(\frac{Z}{E'_k D_p^2} \right)^{1,3} B_a^{-0,4} [(q_z + q_a) l'_p \cos \beta]^{1,23} + \\
&+ 2,11 \cdot 10^{-10} [(q_z + q_a) l'_p \cos \beta]^{2,6} (1 + 0,17g_a^2),
\end{aligned} \tag{2'}$$

- на порожняковой ветви для всех типов лент

$$U''_p = \frac{1,9}{D_p} (1 + 0,2g_a) \psi(\theta) + 1,37 \varphi(\theta) \left(\frac{Z}{E'_k D_p^2} \right)^{1,3} B_a^{-0,4} \left[\frac{1}{2} q_a l'_p \cos \beta \right]^{1,23}. \tag{3}$$

где z - толщина нерабочей обкладки ленты; E_k - динамический модуль упругости ленты в месте контакта с роlikом; φ, ψ - температурные коэффициенты, зависящие от температуры окружающей среды θ .

Исходя из полученных эмпирических зависимостей сил сопротивления движению ленты от параметров ЛТК, можно выразить при записи технических критериев эффективности K_1, K_2 и K_3 ширину ленты B_a и скорость ее движения v_a через погонную нагрузку q_a . Тогда оптимизируемыми становятся параметры q_z , l'_p и D_p . Выполняя некоторые преобразования, запишем

$$q_a \approx 14,5 \cdot 10^{-6} \frac{W_0 n_3 q A}{(A-1)} \approx 14,5 \cdot 10^{-5} W_0 n_3 \cdot \frac{A}{A-1}. \tag{4}$$

где A - тяговый фактор привода, n_3 - коэффициент запаса прочности ленты.

Поскольку тяговое усилие привода W_0 выражено выше через силы U'_p и U''_p (1), которые, в свою очередь, определяются через оптимизируемые параметры q_z, l'_p и D_p (2, 2', 3), полученное равенство (4) можно использовать для определения величины q_a :

$$q_a \approx 14,5 \cdot 10^{-5} \frac{n_3 A}{(A-1)} \cdot L \left[\frac{1}{l'_p} \left(U'_p + \frac{1}{2} U''_p \right) + q_z \sin \beta \right]. \quad (5)$$

В этом случае критерий эффективности K_3 запишем в виде:

$$K_3 = k_3 \cdot \frac{(A-1)}{An_3 L} \cdot \frac{q_a}{q_z},$$

где k_3 - коэффициент, не зависящий от параметров конвейера. Критерий K_2 запишем в виде:

$$K_2 = k_2 \cdot \frac{U'_{деф}}{q_z l'_p},$$

где k_2 - коэффициент, не зависящий от оптимизируемых параметров конвейера.

В критерии K_1 выделим наиболее существенную переменную составляющую массы механической части конвейера $M_{мех}$:

$$M'_{мех} \approx 19,9 L B_a + 3712 \frac{L}{l'_p} D_p^{2,2} \cdot B_a = 19,9 \cdot 1,5 L \sqrt{\frac{q_z}{\rho_z}} + 3712 \cdot 1,5 \frac{L}{l'_p} D_p^{2,2} \sqrt{\frac{q_z}{\rho_z}}, \quad (6)$$

и тогда с точностью до постоянной части можно записать:

$$K_1 = k_1 M'_{мех},$$

где k_1 - коэффициент, не зависящий от оптимизируемых параметров конвейера.

В этом случае общий критерий эффективности K_0 можно записать в более простой форме:

$$K'_0 = \lambda_0 M'_{мех} + \lambda_1 \frac{U'_{деф}}{q_z l'_p} + \lambda_2 \frac{(A-1)}{An_3 L} \frac{q_a}{q_z} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ - неопределенные множители Лагранжа, при этом здесь множитель λ_0 можно принять равным единице.

Заметим, что при достаточно большом значении угла наклона конвейера β , когда $\tan \beta \gg w'_z$ можно пренебречь всеми составляющими сил сопротивления, кроме последней, и в этом случае:

$$W_0 \approx q_z L \sin \beta.$$

Отсюда, учитывая формулу (4), получаем:

$$q_n \approx 3,1 \frac{L}{10^3} q_z \sin \beta,$$

$$\frac{q_n}{q_z} \approx 3,1 \cdot 10^{-3} L \sin \beta = \text{const},$$

т.е. при увеличении угла наклона конвейера критерий эффективности K_3 будет стремиться к постоянной, не зависящей от оптимизируемых параметров конвейера, величине.

При меньших углах наклона конвейера анализ комплексного критерия эффективности K'_0 становится более затруднительным и может быть выполнен с использованием метода геометрического программирования.

Определим, например, минимум по Парето критериев K_2 и K_3 для горизонтального ЛТК ($\beta = 0$) с помощью метода геометрического программирования.

Для удобства введем дополнительную переменную $x = 1 + \frac{q_n}{q_z}$. Тогда

$$q_z + q_n = q_z \left(1 + \frac{q_n}{q_z} \right) = q_z \cdot x.$$

Используя метод неопределенных множителей Лагранжа, задачу оптимизации теперь можно записать в виде:

$$K_3 + \lambda K_2 \rightarrow \min,$$

Учитывая ограничение по необходимой удельной прочности ленты, связывающее новую переменную x с другими переменными, и необходимость минимизации этой переменной (а это эквивалентно требованию минимизации критерия K_3), определяем, что оптимизируемых переменных теперь четыре: l'_p, q_z, D_p и x .

Обозначая $(1 + \lambda) = \lambda'$, получаем, что в комплексном критерии имеется пять степенных членов. Таким образом, она является задачей геометрического программирования нулевой степени трудности без ограничений. Преддвойственная функция имеет вид:

$$V(\delta, x) = \left(\frac{C_1}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \left(\frac{C_2}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \left(\frac{C_3}{\delta_3} \right)^{\delta_3} \left(\frac{C_4}{\delta_4} \right)^{\delta_4} \left(\frac{C_5}{\delta_5} \right)^{\delta_5} \cdot x_1^{D_1} \cdot x_2^{D_2} \cdot x_3^{D_3} \cdot x_4^{D_4};$$

$x_1 = l'_p$; $x_2 = q_z$, $x_3 = D_p$, $x_4 = x$, коэффициенты C_i определяются из выражений (2, 2', 3), показатели степени D_i являются функциями двойственных переменных δ_i .

Двойственная функция имеет вид:

$$\bar{V}(\delta) = \left(\frac{C_1}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \left(\frac{C_2}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \left(\frac{C_3}{\delta_3} \right)^{\delta_3} \left(\frac{C_4}{\delta_4} \right)^{\delta_4} \left(\frac{C_5}{\delta_5} \right)^{\delta_5}$$

или

$$\left. \begin{aligned} q_2^{-1} (l'_p)^{-1} D_p^{-1} &= \left(\frac{\delta_1}{C_1} \right) \cdot \prod_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i}; \\ q_2^{-2} (l'_p)^{-1} D_p^{-1} &= \left(\frac{\delta_2}{C_3} \right) \cdot \prod_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i}; \\ q_2^{0,03} (l'_p)^{0,23} D_p^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{q_d}{q_z} + 1 \right)^{1,23} &= \left(\frac{\delta_3}{C_3} \right) \cdot \prod_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i}; \\ (q_z l'_p)^{1,6} \left(\frac{q_d}{q_z} + 1 \right)^{2,6} &= \left(\frac{\delta_4}{C_4} \right) \cdot \prod_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i}; \\ q_2^{-0,4} (l'_p)^{1,6} \left(\frac{q_d}{q_z} + 1 \right)^{2,6} &= \left(\frac{\delta_5}{C_5} \right) \cdot \prod_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из системы равенств (8) можно определить оптимальные соотношения между переменными параметрами ЛТК, независимо от значения неопределенного множителя Лагранжа λ . **ПАС**

Коротко об авторе

Бажанов П.А. – аспирант, кафедра «Горная механика и транспорт»,
E-mail: kafgmt@msmu.ru
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д. СЕРИКБАЕВА			
ВАН Елена Юрьевна	Совершенствование технологии переработки и обезвреживания высокотоксичных мышьякосо-держащих растворов свинцово-цинкового производства	25.00.36	к.т.н.