

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

**УДК 622.684:650.13.004.18**

**Ю.Е. Воронов, С.В. Басманов**

### **РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

В настоящее время нет достаточных методических и нормативно-технических материалов, регламентирующих такое важное направление повышения качества изделий как их оптимальное проектирование. Одна из таких работ [1] посвящена оптимизации станков вращательного бурения для предприятий открытой угледобычи. Применительно к карьерной автотранспортной технике таких разработок нет. Тем не менее основные методические подходы [1] могут быть использованы для решения поставленной задачи.

Концептуальной основой оптимального проектирования является системный подход, который при назначении параметров машины заключается в том, что они, во-первых, должны соотноситься друг с другом оптимальным образом, и, во-вторых, получаемые на их основе выходные технико-эксплуатационные показатели – отвечать регламентированным нормативными документами значениям.

Карьерный автосамосвал как система характеризуется структурой и параметрами. Структура автосамосвала определяет ее составные части и связи между ними и должна обеспечивать оптимальное его функционирование, для чего характеризующие автосамосвал параметры должны быть оптимизированы (см. рисунок). В качестве критерия оптимизации целесообразно использовать обобщенные оценки технического уровня (качества), а в качестве оптимизируемых параметров – его единичные показатели. Такой подход позволяет на первом этапе понизить размерность задачи оптимизации и тем самым упростить ее решение, а также иметь в процессе проектирования объективные оценки принимаемых решений. Для расчета единичных и обобщенного показателей технического уровня (качества) целесообразно использовать соответствующие зависимости широко используемой в настоящее время методики безэкспертной оценки качества горных машин [2].

Модели целевой функции и ограничений математической модели оптимизации должны формироваться в результате анализа функционирования автосамосвала как системы и представляются в виде уравнений регрессионного анализа, непосредственно связывающих соответствующие показатели с оптимизируемыми параметрами.

Основными технико-эксплуатационными показателями, регламентированными нормативными документами (ГОСТ 30537-97 и ОСТ 37.001.490-90) для карьерных автосамосвалов являются удельная масса автосамосвала  $M_y$  и его 90%-й ресурс (пробег)  $T_p$ . Кроме этого, основным технико-эксплуатационным показателем автосамосвала, определяющим и другие его характеристики, как известно, является производительность. И хотя в нормативных документах для автосамосвалов этот показатель не регламентируется, поскольку во многом зависит от конкретных условий эксплуатации, его введение позволит точнее сбалансировать параметры автосамосвала, поскольку все они, в конечном счете, в той или иной степени оказывают влияние на производительность. Поэтому наряду с регламентированными удельной массой автосамосвала  $M_y$  и его ресурсным пробегом  $T_p$  будем рассматривать также в качестве выходного эксплуатационного показателя и производительность.

На этапе проектирования, когда еще не известны будущие условия эксплуатации, целесообразно использовать теоретическую производительность одной авто-тонны (удельную производительность), которая определена в [3] и составляет ( $\text{т} \cdot \text{км}/\text{т} \cdot \text{ч}$ ):

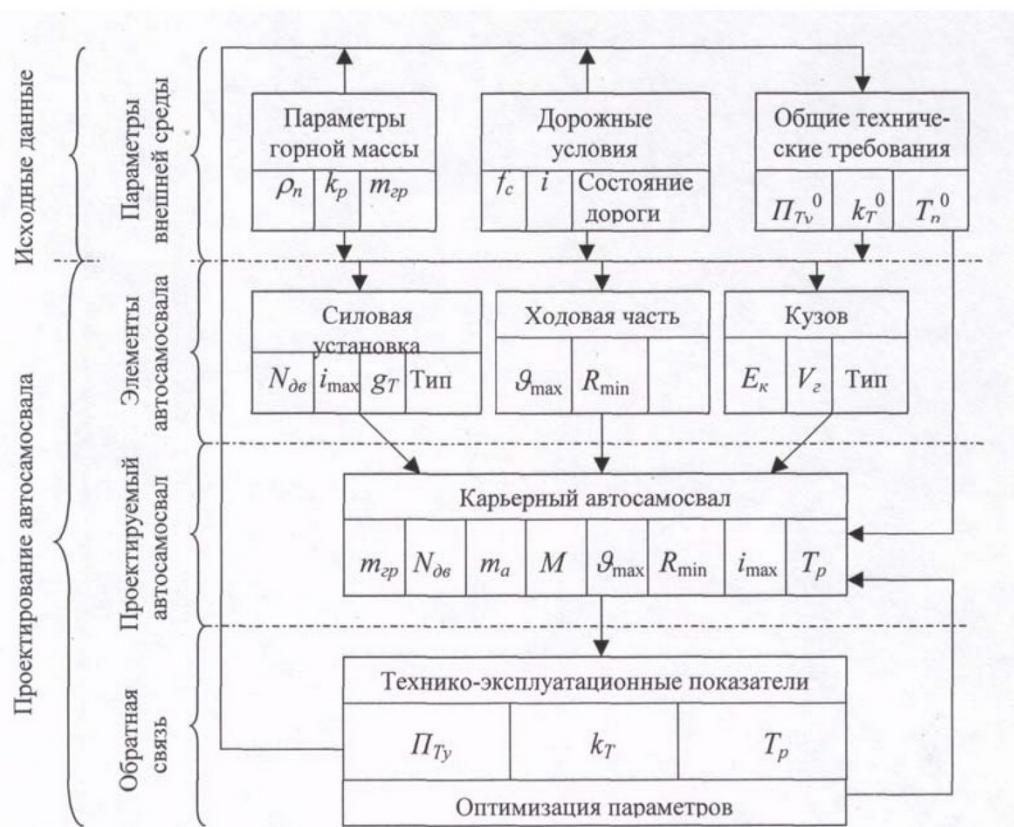
$$\Pi_{T_y} = 0,56 \frac{N_{\text{дв}}}{m_{\text{ep}}} \cdot \frac{\sqrt{1+i_{\max}^2}}{g[i_{\max} + f_c(2k_T + 1)]},$$

и, следовательно, определяется соотношением мощности двигателя  $N_{\text{дв}}$  и грузоподъемности автосамосвала  $m_{\text{ep}}$ , коэффициентом тары  $k_T = m_a/m_{\text{ep}}$  ( $m_a$  – собственная масса автосамосвала) и предельным углом преодолеваемого уклона  $i_{\max}$ .

Если соотношение  $N_{\text{дв}}/m_{\text{ep}}$  привести к известному показателю  $N_{\text{дв}}^{yd} = N_{\text{дв}}/(m_a + m_{\text{ep}})$ , называемому удельной мощностью двигателя, или энерговооруженностью автосамосвала, получим зависимость для определения производительности:

$$\Pi_{T_y} = 0,56 N_{\text{дв}}^{yd} (1+k_T) \cdot \frac{\sqrt{1+i_{\max}^2}}{g[i_{\max} + f_c(2k_T + 1)]},$$

где показатель  $i_{\max}$  является комплексным, зависящим от других параметров, характеризующих



Структурная схема проектирования карьерного автосамосвала и оптимизации его параметров:

$\rho_n$  – плотность транспортируемой горной массы;  $k_p$  – коэффициент разрыхления горной массы;  $m_{ep}$  – масса груза в кузове (грузоподъемность) автосамосвала;  $f_c$  – коэффициент сопротивления качению автосамосвала;  $i$  – уклон (профиль) трассы;  $\Pi_{Ty}$  – производительность одной авто-тонны (удельная производительность) автосамосвала;  $k_T$  – коэффициент тары (удельная масса) автосамосвала;  $T_p$  – ресурсный пробег автосамосвала;  $N_{de}$  – номинальная мощность двигателя;  $i_{max}$  – максимальный уклон преодолеваемого автосамосвала подъема;  $g_T$  – линейный расход топлива;  $\vartheta_{max}$  – максимальная скорость движения;  $R_{min}$  – минимальный радиус поворота;  $E_k$  – вместимость кузова;  $V_e$  – габаритный объем автосамосвала;  $m_a$  – собственная масса автосамосвала;  $M$  – полная масса автосамосвала

автосамосвал (например,  $k_T$ ):

$$i_{max} = 0,870 - 0,848 k_T. \quad (1)$$

Зависимость (1) получена в результате статистической обработки соответствующих параметров для большой группы карьерных автосамосвалов отечественного и зарубежного производства

(43 модели).

Удельная масса автосамосвала  $M_y$  (коэффициент тары  $k_T$ ) и ресурсный пробег  $T_p$  в нормативных документах регламентированы в зависимости от грузоподъемности  $m_{ep}$ . Статистическая обработка этих данных позволила установить ли-

Результаты корреляционного анализа зависимостей удельной массы  $k_T$  и ресурса автосамосвала  $T_p$  от грузоподъемности  $m_{ep}$

Модель	Параметры регрессии		Значимость параметров регрессии, $F$	Критическое значение критерия Фишера, $F_{kp}$	Коэффициент корреляции, $r$	Надежность коэффициента корреляции, $t$	Критическое значение критерия Стьюдента, $t_{kp}$	Стандартное отклонение, $S_0$
	$a$	$b$						
$k_T = a + b m_{ep}$	0,657	$1,044 \cdot 10^{-3}$	1031,5	9,55	0,890	3,381	3,182	0,029
$T_p = a + b m_{ep}$	0,378	$0,818 \cdot 10^{-3}$	660,6	19,0	0,959	4,792	4,303	0,018
$i_{max} = a + b k_T$	0,870	-0,848	121,4	3,55	0,555	2,983	2,101	0,066

нейную зависимость между ними. Параметры этих моделей, модели (1) и результаты их корреляционного анализа приведены в таблице.

Анализ регламентированных нормативными документами выходных технико-эксплуатационных показателей  $\Pi_{Ty}$ ,  $k_T$  и  $T_p$  с учетом взаимосвязей между ними позволил установить необходимую и достаточную номенклатуру оптимизируемых показателей - энергоооруженность  $N_{\partial\theta}^{y\partial}$  (кВт/т), коэффициент тары  $k_T$  (т/т) и ресурсный пробег  $T_p$  (млн. км) (рисунок).

Задача установления степени влияния каждого из оптимизируемых параметров на обобщенный показатель технического уровня (качества)  $k$ , выбранный в качестве критерия оптимизации, и формирования на этой основе модели целевой функции относится к задачам аппроксимационного типа и решается с использованием теории планирования эксперимента.

При решении задачи оптимизации параметров карьерных автосамосвалов имеют место следующие ограничения.

1. Ограничение по соответствию фактических значений эксплуатационных показателей  $\Pi_{Ty}$ ,  $M_y$  ( $k_T$ ),  $T_p$  регламентированным  $\Pi_{Ty}^0$ ,  $M_y^0$  ( $k_T^0$ ),  $T_p^0$  (см. рисунок). Модели этих ограничений могут быть получены из регрессионных связей соответствующих выходных эксплуатационных показателей с оптимизируемыми параметрами:

$$\begin{aligned} a_{10} + a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{12}k_T + a_{13}T_p &\geq \Pi_{Ty}^0; \\ a_{20} + a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{22}k_T + a_{23}T_p &\geq T_p^0; \\ a_{30} + a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{32}k_T + a_{33}T_p &\geq k_T^0; \end{aligned} \quad (2)$$

Поскольку в (2) выходные эксплуатационные показатели  $\Pi_{Ty}^0$ ,  $k_T^0$  и  $T_p^0$  не принимают определенных значений, а обладают разбросом, определяемым соответствующими значениями стандартных отклонений  $S_0^{\Pi}$ ,  $S_0^k$  и  $S_0^T$ , ограничения (2) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} |\Pi_{Ty}^0 - a_{10} - a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} - a_{12}k_T - a_{13}T_p| &\leq S_0^{\Pi}; \\ |T_p^0 - a_{20} - a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} - a_{22}k_T - a_{23}T_p| &\leq S_0^T; \\ |k_T^0 - a_{30} - a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} - a_{32}k_T - a_{33}T_p| &\leq S_0^k. \end{aligned}$$

Каждое из этих ограничений может быть разделено на два ограничения:

$$a_{10} + a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{12}k_T + a_{13}T_p \geq \Pi_{Ty}^0 - S_0^{\Pi};$$

$$\begin{aligned} a_{10} + a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{12}k_T + a_{13}T_p &\leq \Pi_{Ty}^0 + S_0^{\Pi}; \\ a_{20} + a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{22}k_T + a_{23}T_p &\geq T_p^0 - S_0^T; \\ a_{20} + a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{22}k_T + a_{23}T_p &\leq T_p^0 + S_0^T; \\ a_{30} + a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{32}k_T + a_{33}T_p &\geq k_T^0 - S_0^k; \\ a_{30} + a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{32}k_T + a_{33}T_p &\leq k_T^0 + S_0^k. \end{aligned} \quad (3)$$

Параметры ограничений (3) и целевой функции, устанавливается в результате математического эксперимента, под которым в данном случае понимается расчет обобщенного показателя технического уровня (качества)  $k$  и выходных эксплуатационных показателей  $\Pi_{Ty}$ ,  $M_y$ ,  $T_p$  при определенных сочетаниях переменных согласно матрице планирования эксперимента. Методика проведения эксперимента и обработки его результатов приведена в [1].

2. Границные условия, отражающие диапазон изменения оптимизируемых параметров, могут быть определены следующим образом. Анализ их показывает, что для всех них может быть задано только одно нижнее граничное условие – и это условие их неотрицательности, т.е.  $N_{\partial\theta}^{y\partial} \geq 0$ ;  $k_T \geq 0$ ;  $T_p \geq 0$ . Верхние граничные условия для всех показателей отсутствуют.

После приведения ограничений к удобной для исследования форме получена математическая модель оптимизации (ММО) показателей технического уровня (качества) и параметров карьерных автосамосвалов в виде:

$$\begin{aligned} k = a_0 + a_1N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_2k_T + a_3T_p &\rightarrow \max; \\ a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{12}k_T + a_{13}T_p &\geq \Pi_{Ty}^0 - S_0^{\Pi} - a_{10}; \\ a_{11}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{12}k_T + a_{13}T_p &\leq \Pi_{Ty}^0 + S_0^{\Pi} - a_{10}; \\ a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{22}k_T + a_{23}T_p &\geq T_p^0 - S_0^T - a_{20}; \\ a_{21}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{22}k_T + a_{23}T_p &\leq T_p^0 + S_0^T - a_{20}; \\ a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{32}k_T + a_{33}T_p &\geq k_T^0 - S_0^k - a_{30}; \\ a_{31}N_{\partial\theta}^{y\partial} + a_{32}k_T + a_{33}T_p &\leq k_T^0 + S_0^k - a_{30}; \\ N_{\partial\theta}^{y\partial} \geq 0; \quad k_T \geq 0; \quad T_p \geq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Модель (4) представляет собой задачу линейного программирования, которая после установления ее параметров может быть легко решена традиционным симплексным методом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Ю.Е. Методология проектирования станков вращательного бурения нового технического уровня для разрезов: Дис. ... д-ра техн. наук. – Кемерово, 1996. – 377с.
2. Солод Г.И. О квалиметрии. – М.: МГИ, 1991. – 94 с.
3. Воронов Ю.Е., Басманов С.В. К вопросу определения технического уровня карьерных автосамосвалов // Вестн. КузГТУ. – 2006. – №1. – С. 129-131.

□ Авторы статьи:

<p>Воронов Юрий Евгеньевич – докт. техн. наук, проф., зав. каф. «Автомобильные перевозки»</p>	<p>Басманов Сергей Владимирович – ведущий инженер отдела горно-транс- портной техники и оборудования ОАО «Южный Кузбасс», г. Междуреченск</p>
---	---