

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОСАМОСВАЛАМИ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

Ю. И. Лель, И. В. Зырянов, Д. Х. Ильбульдин, О. В. Мусихина, И. А. Глебов

Methods of rational fuel consumption by the dump trucks in deep pits

Yu. I. Lel', I. V. Zyryanov, D. H. Il'bul'din, O. V Musikhina, I. A. Glebov

The detailed analysis of "consumption Norms of fuel and lubricants..." has been performed. It was approved by the Ministry of transport of the Russian Federation and it is an official document for the valuation and planning of fuel consumption in road transport, including open pits. It was found that the "rate..." was deficient in the specific operating conditions of mining dump trucks and a significant discrepancy with the actual fuel consumption. To the greatest extent, these shortcomings are noticeable in deep pits. In the result of experimental and analytical studies a new method of rationing the diesel fuel consumption of mining dump trucks was developed. It is based on the calculation of fuel consumption for vehicle cycle and bringing the actual path length to the conventional horizontal transportation distances using the criterion of energy. This method requires comprehensive consideration of the design parameters of mining dump trucks – mining and road traffic conditions. As a criterion for evaluating the difficulty of transporting it justifies the use of the coefficient of difficulty of the course, showing how many times the energy consumption in the movement of trucks on the highway exceed the real energy consumption while driving on a horizontal road with the crushed-stone surface of the same length. The formulae are derived to determine the given distance of transportation on the basis of the horizontal equivalent of the vertical movement of the rock mass. It was found that the linear rate of flow of diesel fuel to mileage and transportation work under other equal conditions is determined by two main factors: the distance of transportation of L and the coefficient μ of difficulty of the course. As an example, the calculation of the linear differentiated norms of fuel consumption of dump trucks CAT 785B in an "Udachny" pit AK "ALROSA" (JSC). The developed method provides high accuracy of regulation of diesel fuel consumption in almost any ranges of mining and road traffic conditions and is recommended for use in deep pits.

Keywords: dump truck; fuel consumption; given distance; horizontal equivalent of the vertical displacement; the difficulty of the route; quarry.

Выполнен детальный анализ «Норм расхода топлива и смазочных материалов...», утвержденных Минтрансом РФ и являющихся официальным документом для нормирования и планирования расхода топлива на автомобильном транспорте, в том числе карьерном. Установлено, что указанные «Нормы расхода...» характеризуются недостаточным учетом специфики условий эксплуатации карьерных автосамосвалов и значительными расхождениями с фактическими показателями расхода топлива. В наибольшей степени эти недостатки проявляются в глубоких карьерах. В результате экспериментально-аналитических исследований разработана новая методика нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами, основанная на расчете расхода топлива за транспортный цикл и приведении фактической длины трассы к условному горизонтальному расстоянию транспортирования с использованием энергетического критерия. Методика характеризуется комплексным учетом конструктивных параметров карьерных автосамосвалов горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации. В качестве критерия оценки трудности транспортирования обосновано использование коэффициента сложности трассы, показывающего, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвала по реальной трассе превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности. Получены расчетные формулы для определения приведенного расстояния транспортирования на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы. Установлено, что линейная норма расхода дизельного топлива на пробег и транспортную работу при прочих равных условиях определяется двумя основными факторами: расстоянием транспортирования L и коэффициентом сложности трассы μ . В качестве примера приведен расчет линейной дифференцированной нормы расхода топлива автосамосвалами CAT-785B в условиях карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО). Разработанная методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации и рекомендуется к использованию в глубоких карьерах.

Ключевые слова: автосамосвал; расход топлива; приведенное расстояние; горизонтальный эквивалент вертикального перемещения; сложность трассы; карьер.

В настоящее время официальным документом для нормирования и планирования расхода дизельного топлива на автомобильном транспорте, в том числе карьерном, являются «Нормы расхода топлива и смазочных материалов...», утвержденные распоряжением Минтранса РФ № АМ-13-р от 14.03.2008 г. [1, 2]. Нормативные значения расхода топлива Q_n , л, для автосамосвалов при работе с коэффициентом использования пробега 0,5 определяются по формуле

$$Q_n = 0,01 NS (1 + 0,01 D) + N_z n,$$

где N – базовая норма расхода топлива для конкретной модели автосамосвала, л/100 км; S – сменный пробег автосамосвала, км; D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение к норме), %; N_z – дополнительная норма

расхода топлива на каждый рейс, л; n – количество рейсов за смену.

Опыт применения «Норм расхода...» в карьерных условиях выявил следующие недостатки.

1. Базовая норма расхода N задается постоянной величиной для конкретной модели автосамосвала. В карьерных условиях она должна быть дифференцированной в зависимости от расстояния транспортирования, высоты подъема (спуска) горной массы и других горнотехнических факторов.

2. Базовая норма расхода задается для модели автосамосвала, но не учитывает модель и технические характеристики установленного дизельного двигателя, которые оказывают существенное влияние на топливную экономичность.

3. При работе в карьерных условиях регламентируется повышение базовой нормы расхода до 20 % для автотранспортных средств без груза и до 40 % для автотранспортных средств с полной или частичной загрузкой. Однако эта регламентация касается автомобилей общего пользования за исключением специальных карьерных автосамосвалов. Автосамосвалы БелАЗ относятся к специальным карьерным автотранспортным средствам, поэтому указанное повышение к ним применяться не должно, хотя на практике это часто делается.

4. При работе автомобилей в качестве технологического транспорта, включая работу внутри предприятия, предусматривается увеличение базовой нормы расхода до 20 %. Вместе с тем это увеличение в большинстве случаев оказывается недостаточным для учета условий эксплуатации автосамосвалов в глубоких карьерах.

5. Для автосамосвалов типа БелАЗ предусматривается дополнительная норма расхода топлива на каждый рейс до 1 л. Как показывают исследования, дополнительная норма является достаточной только для автосамосвалов грузоподъемностью 30–42 т. При большей грузоподъемности дополнительный расход превышает 1 л на каждый рейс.

Таким образом, указанные «Нормы расхода ...» характеризуются недостаточным учетом специфики условий эксплуатации карьерных автосамосвалов и значительными расхождениями с фактическими показателями расхода топлива.

В 1975–2008 гг. Институтом горного дела УрО РАН, УГГУ и рядом других организаций разрабатывались «Дифференцированные нормы расхода топлива...» на основе комплексных экспериментальных исследований топливной экономичности карьерных автосамосвалов [3–10]. Дифференциация норм осуществля-

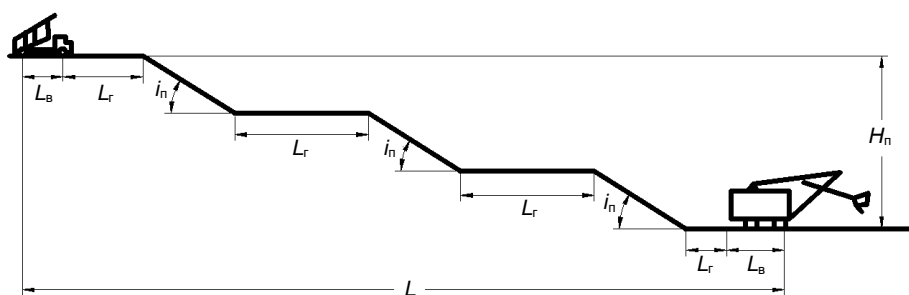


Рисунок 1. Схема к расчету расхода дизельного топлива.

лась в основном по двум факторам: расстоянию транспортирования и высоте подъема (спуска) горной массы. Применение «Дифференцированных норм...» способствовало повышению научной обоснованности и точности планирования и нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами. Однако с усложнением горнотехнических условий эксплуатации автотранспорта, внедрением на карьерах полноприводных автосамосвалов, способных работать на уклонах до 24–25 %, а также современных информационных технологий учета и контроля расхода топлива на базе GPS (Global Positioning System) и приборов FMS [11, 12] такая дифференциация оказывается недостаточной, не обеспечивающей необходимой точности нормирования и удовлетворительной сходимости нормативных показателей расхода с фактическими. В наибольшей степени эти недостатки проявляются при разработке индивидуальных маршрутных норм расхода в глубоких карьерах.

Предлагаемая методика нормирования заключается в следующем. В основу нормирования положен расход дизельного топлива автосамосвалом за транспортный цикл $Q_{ц}$, л:

$$Q_{ц} = Q_{const} + Q_{пер},$$

где Q_{const} – относительно постоянная часть расхода топлива в транспортном цикле, л; $Q_{пер}$ – переменная часть расхода топлива, зависящая от расстояния транспортирования, высоты подъема (спуска) горной массы и других горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации, л;

$$Q_{const} = Q_{п} + Q_{о} + Q_{р} + Q_{м.п} + Q_{м.р},$$

где $Q_{п}$, $Q_{о}$, $Q_{р}$, $Q_{м.п}$, $Q_{м.р}$ – расход топлива при погрузке автосамосвала, ожидании погрузки, разгрузке, маневровых операциях при установке на погрузку и разгрузку, л, соответственно;

$$Q_{п} + Q_{о} = g_x (t_n + t_o) / 60,$$

где g_x – удельный расход топлива на холостом ходу двигателя (полный холостой ход), л/ч (определяется экспериментально); $t_n + t_o$ – суммарная продолжительность погрузки автосамосвала и ожидания погрузки, мин.

Расход топлива при разгрузке и производстве маневровых операций определяется из выражения

$$Q_i = g_i t_i / 60,$$

где Q_i – расход топлива в i -м режиме, л; g_i – удельный расход топлива в i -м режиме, л/ч; t_i – длительность i -го режима, мин;

$$g_i \approx g_n N_d k_{Ni} k_n / 1000 \text{ г},$$

где g_n – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт · ч; N_d – номинальная мощность двигателя автосамосвала, кВт; k_{Ni} – коэффициент использования мощности двигателей в i -м режиме (табл. 1); k_n – поправочный коэффициент, учитывающий изменения g_n в зависимости от использования мощности двигателя ($k_n = 1,1 \dots 1,2$); ρ – плотность дизельного топлива, кг/л.

Переменная часть расхода топлива $Q_{пер}$, л, при движении автосамосвала по горизонтальной щебеночной автодороге с ко-

Таблица 1. Значения коэффициентов использования мощности двигателя k_{Ni} в различных режимах (экспериментальные данные) [11]

Характеристика режима	k_{Ni}
Маневры при установке:	
на погрузку	0,10–0,12
на разгрузку	0,38–0,40
Разгрузка	0,06–0,08

эффициентом сопротивления качению w_0 определяется из выражения [11]:

$$Q_{пер} = Q_{д}^r + Q_{д}^n = \frac{G g_n L_{пр} \omega_0 [k_1 (1 + k_1 k_2) + k_t]}{367 \eta \rho}, \quad (1)$$

где $Q_{д}^r$ – расход топлива при движении груженого самосвала, л; $Q_{д}^n$ – расход топлива при движении порожнего самосвала, л; G – грузоподъемность автосамосвала, т; k_1 – коэффициент использования грузоподъемности; h_T – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; ω_0 – коэффициент сопротивления качению груженых автосамосвалов на автодороге со щебеночным покрытием [11]; k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение ω_0 при движении порожних автосамосвалов ($k_1 \approx 1,15 \dots 1,20$) [13]; k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение удельного расхода дизельного топлива при номинальной нагрузке g_n при движении порожних автосамосвалов ($k_2 \approx 1,1$) [13]; k_t – коэффициент тары самосвала; $L_{пр}$ – расстояние транспортирования (длина горизонтальной трассы), км.

Формулу (1) можно применить для расчета расхода топлива по реальной трассе, если фактическую длину трассы привести к горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием.

Общую длину реальной трассы движения L , км, можно представить в виде суммы отдельных участков (рис. 1):

$$L = L_r + L_i + L_b,$$

где L_r – суммарная протяженность горизонтальных участков со щебеночным покрытием, км; L_b – суммарная протяженность временных горизонтальных участков без покрытия, км; L_i – суммарная протяженность наклонных участков со щебеночным покрытием, км;

$$L_i = L_n + L_c = H_n / i_n \cdot 10^3 + H_c / i_c \cdot 10^3,$$

где L_r – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном i_n при движении на подъем, км; L_c – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном i_c при движении на спуск, км; H_n , H_c – высота подъема (глубина спуска) горной массы, м.

Приведенное расстояние транспортирования $L_{пр}$, км, рассчитывается по формуле (рис. 2) [13]:

$$L_{пр} = L_r + H_n \Theta_n \cdot 10^{-3} + H_c \Theta_c \cdot 10^{-3} + k_{пр} L_b, \quad (2)$$

где Θ_n , Θ_c – горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения (подъема, спуска) горной массы, показывающие, какое расстояние транспортирования по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием эквивалентно по затратам энергии подъему (спуску) горной массы по наклонному участку на высоту (глубину) 1 м, м/м. Экспериментально-аналитические зависи-

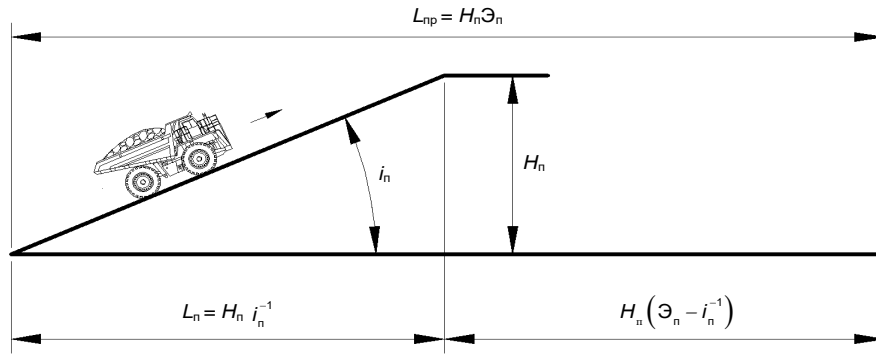


Рисунок 2. Схема к расчету приведенного расстояния транспортирования при работе автосамосвала на подъем горной массы.

мости для расчета горизонтальных эквивалентов, полученные на основании исследований УГГУ, представлены в табл. 2 [13].

При расчете приведенного расстояния возникает необходимость приведения участков автодорог к одному типу покрытия – базовому. В качестве базового рекомендуется принимать наиболее распространенное в карьерах щебеночное покрытие с коэффициентом сопротивления качению $\omega_0 = 0,020 \dots 0,025$ [14, 15]. В формуле (2) $k_{пр}$ – коэффициент приведения покрытия временных автодорог к базовому (щебеночному) покрытию.

$$k_{пр} = \omega_0^a / \omega_0,$$

где ω_0^a – коэффициент сопротивления качению на временных забойных и отвальных автодорогах.

Значения горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы и коэффициентов приведения покрытий временных автодорог для автосамосвалов Cat-785B и горнотехнических условий Удачинского ГОКа АК «АЛРОСА» приведены в табл. 3.

Умножив расход дизельного топлива за транспортный цикл $Q_{ц}$, л, на величину $100/2L$, где L – фактическое расстояние транспортирования в километрах, получим линейную дифференцированную норму расхода дизтоплива на пробег в л/100 км;

$$N_a = \frac{50}{L} \left\{ Q_{const} + \frac{Gg_n L_{пр} \omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]}{367 \eta_p} \right\}. \quad (3)$$

Обозначив $\mu = L_{пр} / L$ коэффициент сложности трассы и подставив значения исходных данных (табл. 4), получим для автосамосвалов Cat-785B:

$$N_a = 231/L + 298,75 \mu, \quad (4)$$

где N_a – линейная дифференцированная норма расхода дизельного топлива на пробег, л/100 км; L – фактическое расстояние транспортирования, км; $L_{пр}$ – приведенное расстояние транспортирования, км; μ – коэффициент сложной трассы.

Умножив расход топлива за цикл $Q_{ц}$, л, на величину $1000 \rho / k_r GL$, получим линейную дифференцированную норму расхода на транспортную работу в г/(т · км):

$$N_a \frac{1000 \rho Q_{const}}{k_r GL} + \frac{2,725 g_n L_{пр} \omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]}{L \eta_p k_r}. \quad (5)$$

Для Cat-785B

$$N_a = 31,85/L + 40,81 \mu. \quad (6)$$

Таблица 2. Зависимости для расчета горизонтальных эквивалентов.

Горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения, м/м	
Подъем горной массы	Спуск горной массы
$\Theta_n = \frac{k_3 (k_r + k_r) (\omega_0 + i_n)}{i_n \omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]}$	$\Theta_c = \frac{k_1 k_2 k_4 k_r (\omega_0 + i_c)}{i_c \omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]}$

Примечание: k_3 – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении порожних автосамосвалов на спуск в тормозном режиме ($k_3 = 1,05 \dots 1,07$); k_4 – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении груженых автосамосвалов на спуск в тормозном режиме ($k_4 = 1,2 \dots 1,3$); $i_n (i_c) > \omega_0$.

Таким образом, линейная норма расхода топлива при прочих равных условиях представляет собой функцию двух переменных – фактического расстояния транспортирования L и отношения приведенного расстояния к фактическому, т. е. сложности трассы (рис. 3). Левая часть уравнений (3)–(6) отражает постоянную составляющую расхода топлива, доля которой в общем расходе уменьшается с увеличением расстояния транспортирования. Правая часть указанных уравнений отражает переменную часть расхода топлива, которая линейно зависит от сложности трассы.

Коэффициент сложности трассы μ показывает, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвала по реальной трассе протяженностью L превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности.

В простейшем случае, когда трасса представлена участком подъема или спуска и коэффициент сопротивления качению ω_i на участке отличается от стандартных значений на автодороге со щебеночным покрытием ω_0 , коэффициент сложности трассы определится из следующих выражений:

– при работе на подъем горной массы

$$\mu = \frac{k_3 (k_r + k_r) (\omega_i + i_n)}{\omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]},$$

– при работе на спуск

$$\mu = \frac{k_1 k_2 k_4 k_r (\omega_i + i_c)}{\omega_0 [k_r (1 + k_1 k_2) + k_r]}.$$

Таким образом, сложность трассы определяется уклоном, сопротивлением качению, зависит от коэффициента тары и коэффициента использования грузоподъемности, а также от эмпирических

Таблица 3. Значения горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения покрытий временных автодорог.

Модель и грузоподъемность автосамосвала	Значения горизонтальных эквивалентов ($i_p = i_n = i_c = 0,08$; $\omega_0 = 0,0225$)						$k_{пр}$
	Θ_n , м/м, при k_r			Θ_c , м/м, при k_r			
	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	
Cat-785B (G = 136 т)	37,44	38,35	39,20	28,53	27,42	26,39	1,78

Таблица 4. Исходные данные для нормирования расхода топлива автосамосвалами в условиях Удачинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО).

Показатель	Значение	Источник информации
<i>Паспортные данные автосамосвала</i>		
Модель автосамосвала	Cat-785B	Техническая характеристика самосвала
Грузоподъемность G , т	136	
Собственная масса G_a , т	98,436	
Коэффициент тары k_T	0,724	
Модель двигателя	Cat-8512	
Номинальная мощность двигателя N_n , кВт	1029	
Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя g_n , г/кВт × ч	209±10 %	
Коэффициент полезного действия трансмиссии η_T	0,90	Результаты исследований [8]
Вместимость платформы, м ³ : геометрическая V_a	57	Техническая характеристика
с «шапкой» V'_a	78	характеристика
Паспортная загрузка автосамосвала k_G , т	110–112; 120–123	Паспорта
Коэффициент использования грузоподъемности k_f	0,81–0,82; 0,88–0,90	загрузки автосамосвалов
<i>Паспортные данные выемочно-погрузочного оборудования</i>		
Модели выемочно-погрузочного оборудования	H-135S; ЭКГ-10; ЭКГ-15; L-1100	Техническая характеристика выемочно-погрузочного оборудования
Вместимость ковшей E , м ³	9,5; 10,0; 15,0; 16,8	
<i>Характеристика горнотехнических и дорожно-транспортных условий</i>		
Расстояние транспортирования L , км	1,0–27,0	Проект, план горных работ
Высота подъема горной массы H_n , м	0–700	
Плотность в массиве перевозимых пород и руд γ , т/м ³	2,03–2,90	Паспорта загрузки автосамосвалов
Тип дорожного покрытия	Щебеночное	
Руководящий уклон автодорог i_p , доли ед.	0,08	Проект, план горных работ
Средний коэффициент сопротивления качению груженых автосамосвалов, доли ед.: на автодорогах со щебеночным покрытием ω_o	0,020–0,025	Результаты исследований [8]
на временных забойных и отвальных дорогах ω_o^a	0,030–0,040	
Средняя протяженность временных автодорог на трассе L_b , км	0,10–0,15	План горных работ
<i>Расчетные и экспериментальные данные</i>		
Средняя продолжительность погрузки автосамосвала и ожидания погрузки $t_n + t_o$, мин ..	3,9–5,4 (4,6)	Нормы выработки, хронометражные наблюдения
Продолжительность, мин: разгрузки t_p	1,17	
маневров при установке на погрузку $t_{m,n}$	0,58	
маневров при установке на разгрузку $t_{m,p}$	0,92	
Удельный расход топлива на холостом ходу двигателя g_x , л/ч	25,4	Экспериментальные данные [8]
Средний расход топлива, л: при погрузке и ожидании $Q_n + Q_o$	1,95	
при разгрузке Q_p	0,42	
на маневровых операциях при установке: на погрузку $Q_{m,n}$	0,36	Расчет
на разгрузку $Q_{m,p}$	1,89	
Относительно постоянная часть расхода топлива в цикле Q_{const} , л	4,62	
Средняя плотность топлива ρ , кг/л	0,836	Планируемый показатель

коэффициентов, учитывающих увеличение сопротивления качению при движении порожних автосамосвалов, увеличение удельного расхода топлива при номинальной нагрузке двигателя при движении порожних автосамосвалов по горизонтальной дороге, расход топлива при движении автосамосвалов в тормозных режимах.

Объективной закономерностью для глубоких карьеров является увеличение сложности трассы с ростом глубины разработки. При этом максимальные значения коэффициентов сложности трассы для автосамосвалов с колесной формулой 4 × 2, работающих на руководящих уклонах $i_p \leq 10...12\%$, могут достигать 2,5–3,0. При внедрении полноприводных автосамосвалов, эксплуатирующихся на руководящих уклонах до 24–25 %, коэффициент сложности трассы увеличивается до 5–7.

Показатель сложности трассы является комплексным, объективно отражает изменение горнотехнических условий эксплуатации карьерного автотранспорта, имеет численное выражение и рекомендуется к использованию при нормировании

расхода топлива. Универсальность показателя заключается в том, что с его помощью можно рассчитать расход топлива для любых моделей автосамосвалов, работающих на различных уклонах автодорог с различным типом покрытия на трассах любой сложности.

В качестве примера приведем расчет линейной дифференцированной нормы расхода топлива автосамосвалами Cat-785B в условиях карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО) (табл. 4).

Исходные данные:

$$L = 5,5 \text{ км}; H_n = 180 \text{ м}; i_p = 0,08; L_b = 0,1 \text{ км}; \omega_o = 0,0225; k_f = 0,9.$$

Определяем:

$$L_i = H_n / i_p \cdot 10^3 = 180 / 0,08 \cdot 10^3 = 2,25 \text{ км}.$$

$$L_f = L - L_i - L_b = 5,5 - 2,25 - 0,1 = 3,15 \text{ км}.$$

Приведенное расстояние

$$L_{np} = L_f + H_n \cdot \omega_o \cdot 10^3 + k_{np} \cdot L_b = 3,15 + 180 \cdot 38,35 \cdot 10^{-3} + 1,78 \cdot 0,1 = 10,23 \text{ км}.$$

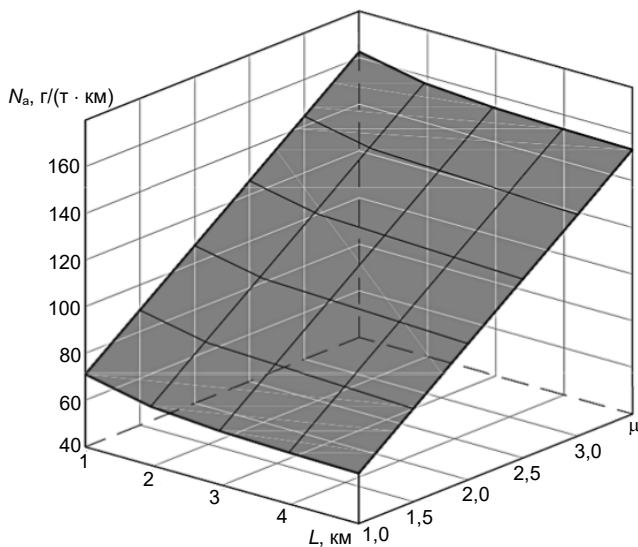


Рисунок 3. Зависимость нормы расхода топлива N_a , г/(т · км), от расстояния транспортирования L и коэффициента сложности трассы μ (автосамосвал Cat-785B, Удачныйский ГОК АК «АЛРОСА» (ПАО)).

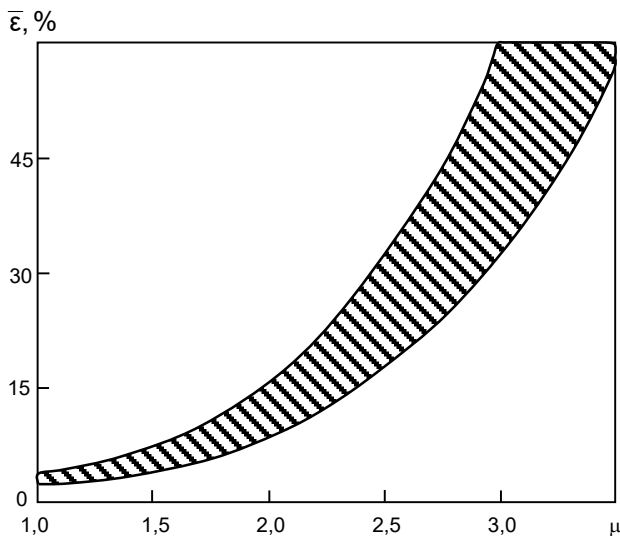


Рисунок 4. Зависимость отклонения фактического расхода топлива от нормативного $\bar{\epsilon}$, %, от сложности трассы μ при использовании методики Министерства транспорта РФ.

Коэффициент сложности трассы

$$\mu = L_{np} / L = 10,23/5,5 = 1,86.$$

Норма расхода на пробег

$$N_a = 231/L + 298,75\mu = 231/5,5 + 298,75 \cdot 1,86 = 597,7 \text{ л/100 км.}$$

Норма расхода на транспортную работу

$$N_a = 31,85/L + 40,81\mu = 31,85/5,5 + 40,81 \cdot 1,86 = 81,7 \text{ г/(т · км).}$$

Фактический расход топлива составил 80 г/(т · км) – 575 л/100 км. Ошибка $\bar{\epsilon} = 2,1 \dots 3,9 \%$.

Опыт эксплуатации показывает, что нормы расхода топлива, рассчитанные по методике Министерства транспорта РФ, обеспечивают допустимое отклонение фактического расхода от нормативного ($\bar{\epsilon} \leq 5 \%$) только на несложных трассах с $\mu \leq 1,5$, характерных для карьеров глубиной до 40–50 м (рис. 4). Предлагаемая методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических условий эксплуатации, т. е. при любой сложности трасс. Коэффициент сложности трассы μ может использоваться в качестве критерия оценки условий эксплуатации карьерного автотранспорта.

Выводы

Разработана новая экспериментально-аналитическая методика нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами, основанная на расчете расхода топлива за транспортный цикл и приведении фактической длины трассы к условному горизонтальному расстоянию транспортирования с использованием энергетического критерия. Методика характеризуется комплексным учетом конструктивных параметров карьерных автосамосвалов, горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации. В качестве критерия оценки трудности транспортирования обосновано использование коэффициента сложности трассы, показывающего, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвалов по реальной трассе превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности. Получены расчетные формулы для определения приведенного расстояния транспортирования на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы. Установлено, что линейная норма расхода дизельного топлива на пробег и транспортную работу при прочих равных условиях определяется двумя основными факторами – расстоянием транспортирования L и коэффициентом сложности трассы μ .

Разработанная методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации, прошла апробацию и рекомендуется к использованию в глубоких карьерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжения Минтранса РФ № АМ-13-р от 14.03.2008, № НА-50-р от 14.05.2014, № НА-80-р от 14.07.2015.
2. Методика нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте. М.: НИИПин при Госплане СССР, 1983. 63 с.
3. Дифференцированные нормы расхода горюче-смазочных материалов для большегрузных автосамосвалов БелАЗ-540А, БелАЗ-548А и KrAZ-256B: утв. МЧМ СССР 23.07.1976. Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1976. 73 с.
4. Методические указания по нормированию расхода дизельного топлива на карьерном автомобильном транспорте: утв. МЧМ СССР 01.01.1986. Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1986. 32 с.
5. Разработка дифференцированных норм расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами в условиях ОАО «Ураласбест»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург. 1999. 39 с.
6. Линейные дифференцированные нормы расхода дизельного топлива для автосамосвалов БелАЗ-7548, БелАЗ-75485 и БелАЗ-75405 в условиях АОТ «Сафьяновская медь»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 1997. 25 с.
7. Разработка удельных норм расхода топлива технологическим транспортом на карьере «Юбилейный»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 2007. 224 с.
8. Нормы расхода топлива технологическим транспортом Удачныйского ГОКа: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 2008. 90 с.
9. Кулешов А. А. Определение расхода топлива карьерными автосамосвалами // Горные машины и автоматика. 2004. № 8. С. 17–21.
10. Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.
11. Смирнов В. П., Лель Ю. И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.
12. Ильбульдин Д. Х., Лель Ю. И., Горшков Э. В. Оценка эффективности систем контроля расхода топлива на горной и автомобильной технике // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2009. Вып. 5(95). С. 363–372.
13. Лель Ю. И., Салахив Р. Г., Арефьев С. А., Сандригайло И. Н. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 2. С. 107–116.
14. Atkinson T., Walton G. Design and Layout of haul roads for surface mines // Surface Mining and Quarrying. Pap. 2-nd Int. Symp. (Bristol, 4–6 Oct. 1983). London. 1983. P. 369–381.
15. Willimson O. S. Haul road design for off-highway mining equipment // World Mining Equip. 1987. Vol. 12, № 3. P. 24–26.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of transport of the Russian Federation # AM-13-p dated 14.03.2008, No. ON-50-R dated 14.05.2014, n-80-p on 14.07.2015.
2. 1983, *Metodika normirovaniya raskhoda topliva na avtomobil'nom transporte* [Methods of rationing of fuel consumption on motor transport]. Moscow, 63 p.
3. 1976, *Differentsirovannye normy raskhoda goryuche-smazochnykh materialov dlya bol'shegruznykh samosvalov BelAZ-540A, BelAZ-548A i KrAZ-256B: utv. MCHM SSSR 23.07.1976* [Differentiated consumption norms of fuel and lubricants for heavy-duty BelAZ-540A dump trucks BelAZ-548A KrAZ-256B and: ap-

- proved. MISI USSR 23.07.1976]. Sverdlovsk, 73 p.
4. 1986, *Metodicheskiye ukazaniya po normirovaniyu raskhoda diesel'nogo topliva na kar'yernom avtomobil'nom transporte: utv. MCHM SSSR 01.01.1986* [Methodical instructions on regulation of the expense of diesel fuel on the pit-run transport: approved MISI USSR 01.01.1986]. Sverdlovsk, 32 p.
5. 1999, *Razrabotka differentsirovannykh norm raskhoda diesel'nogo topliva kar'yernymi avtosamosvalami v usloviyakh OAO "Uralasbest": otchyot o NIR* [Development of differentiated consumption norms of diesel fuel mining dump trucks in the JSC "Uralasbest": research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 39 p.
6. 1997, *Lineynye differentsirovannyye normy raskhoda diesel'nogo topliva dlya avtosamosvalov BelAZ-75485 i BelAZ-75405 v usloviyakh AOOT "Safyanovskaya med'": otchyot o NIR* [Linear differential consumption rates of diesel fuel for dump trucks BelAZ-7548, BelAZ-75485, BelAZ-75405, and in JSC "Safyanovskaya copper"], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 25p.
7. 2007, *Razrabotka udel'nykh norm raskhoda topliva tekhnologicheskimi transportom na kar'yere "Yubileyniy": otchyot o NIR* [The development of specific norms of fuel consumption for technological transport at the quarry "Jubilee": a research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 224 p.
8. 2008, *Normy raskhoda topliva tekhnologicheskimi transportom Udachninskogo GOKa: otchyot o NIR* [The norm of fuel consumption of the technological transportation Udachny MPD: research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 90 p.
9. Kuleshov A. A. 2004, *Opredeleniye raraskhoda topliva kar'yernymi avtosamosvalami* [Determination of the fuel consumption by the mining dump trucks], no. 8, pp. 17–21.
10. Mariev P. L., Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V. 2004, *Kar'yernyi avtotransport: sostoyaniye i perspektivy* [Quarry transport: status and prospects]. St. Petersburg, 429 p.
11. Smirnov V. P., Lel' Yu. I., 2002, *Teoriya kar'yernogo bol'shegruznogo avtotransporta* [The theory of the quarry heavy vehicles]. Ekaterinburg, 355 p.
12. Il'bul'din, D. H., Lel' Yu. I., Gorshkov E. V. 2009, *Otsenka effektivnosti sistem kontrolya raskhoda topliva na gornoy i avtomobil'noy tekhnike* [Assessment of efficiency of the systems of fuel consumption control for mining and automotive technics]. *Geotekhnologicheskiye problemy kompleksnogo osvoeniya nedr: sbornik nauchnykh trudov* [Geotechnological problems of integrated subsurface development: a collection of scientific papers], vol. 5(95). Ekaterinburg, pp. 363–372.
13. Lel' Yu. I., Salakhiev R. G., Aref'yev S. A., Sandrigailo I. N. 2014, *Sovershenstvovaniye normirovaniya raskhoda topliva kar'yernymi avtosamosvalami na osnove horizontal'nykh equivalentov vertical'nogo peremeshcheniya gornoy massy* [Improving the rationing of fuel consumption of mining dump trucks, based on the horizontal equivalent of the vertical movement of the rock mass]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 107–116.
14. 1983, Atkinson T., Walton G. Design and layout of trunk roads for land mines. Surface mining and celeritate. Porridge. 2nd Int. Symposium (Bristol, 4–6 Oct. 1983). London, pp. 369–381.
15. 1987, Willemson O. S. The design of roads for off-road mining equipment. *World mining equipment*, vol. 12, no. 3, pp. 24–26.

Юрий Иванович Лель,

lel49@mail.ru

Ольга Владимировна Мусихина,

musihina_o@mail.ru

Игорь Андреевич Глебов

gleb_igor@mail.ru

Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Игорь Владимирович Зырянов,

zyryanovIV@alrosa.ru

Давлят Хурматович Ильбульдин

ilbuldindkh@alrosa.ru

Институт «Якутнiproalmaz» АК «АЛРОСА» (ПАО)
Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 39

Yuriy Ivanovich Lel',

lel49@mail.ru

Ol'ga Vladimirovna Musikhina,

musihina_o@mail.ru

Igor' Andreevich Glebov

gleb_igor@mail.ru

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Igor' Vladimirovich Zyryanov,

zyryanovIV@alrosa.ru

Davlyat Khurmatovich Il'bul'din

ilbuldindkh@alrosa.ru

Institute "Yakutniproalmaz" AK "ALROSA" (PJSC)
Mirnyi, Sakha (Yakutia) Republic