

Совершенствование нормирования расхода топлива карьерных самосвалов (на примере угольного разреза «Майрыхский»)

И.И. Вашлаев^{1,2} ✉, А.С. Морин², А.Г. Михайлов^{1,2}, В.А. Азев², О.С. Игнатова²

¹ Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск, Российская Федерация

² Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация
✉ vash49@gmail.com

Резюме: Эффективность транспортирования горной массы карьерными автосамосвалами непосредственно влияет на себестоимость добычи полезных ископаемых. Одним из важнейших показателей эксплуатационной экономичности является удельный расход топлива, отражающий затраты энергии на единицу выполненной работы. Данному вопросу посвящено достаточно много работ, но они в большинстве случаев не учитывают все многообразие горно-геологических и технических факторов в целом. Настоящее исследование направлено на повышение надежности нормирования расхода топлива большегрузных карьерных автосамосвалов. Приведена сравнительная оценка энергетической эффективности карьерных самосвалов на разрезе «Майрыхский» по следующим показателям расхода топлива: фактический расход, нормативный расход по предприятию и расчётный расход на основе приведения расстояния транспортирования к горизонтальному эквиваленту. Показано, как результаты сравнения энергетической эффективности самосвалов по величине нормативного и расчётного расхода топлива могут быть использованы при организации и планировании работы предприятия. В первую очередь это относится к анализу расчётного расхода, так как данный показатель учитывает горнотехнические условия работы автомобиля и его технические параметры. Предложен более точный и надёжный метод оценки расхода топлива карьерным автотранспортом, позволяющий учитывать качество дорожного покрытия и оперативно управлять дорожными работами.

Ключевые слова: нормирование расхода топлива, карьерные самосвалы, энергетический критерий, транспортная работа, параметры трассы, удельный расход топлива

Благодарности: Работа выполнена в рамках базового проекта FWES 2026-0004.

Для цитирования: Вашлаев И.И., Морин А.С., Михайлов А.Г., Азев В.А., Игнатова О.С. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерных самосвалов (на примере угольного разреза «Майрыхский»). *Горная промышленность*. 2026;(4):106–113. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4-106-113>

Improving rationing of fuel consumption for surface mining dump trucks (using the case of Mairykhsky coal strip mine)

I.I. Vashlaev^{1,2} ✉, A.S. Morin², A.G. Mikhailov^{1,2}, V.A. Azev², O.S. Ignatova²

¹ Institute of Chemistry and Chemical Technology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
✉ vash49@gmail.com

Abstract: The efficiency of transporting rock mass by mining dump trucks directly affects the cost of mining. One of the most important indicators of the operational efficiency is the specific fuel consumption, which reflects the energy consumed per unit of the work performed. Although a lot of works study this issue, most of them fail take into account the whole variety of mining, geological and technical factors. The study is aimed at improving the reliability of fuel consumption rationing for heavy-duty mining dump trucks. A comparative assessment of the energy efficiency of the mining dump trucks at the Mairykhsky strip mine is presented for the following fuel consumption indicators: the actual consumption, the standard consumption at the company

and the estimated consumption based on reducing the haulage distance to horizontal equivalent. It is shown how the results of comparing energy efficiency of the dump trucks using the value of the standard and estimated fuel consumption can be used in organizing and planning the company's operation. This primarily refers to analyzing the estimated consumption, since this indicator takes into account the mining conditions of the dump truck operation and its technical parameters. A more accurate and reliable method for assessing fuel consumption of mining machines has been proposed, which makes it possible to account for the road surface condition and promptly manage road maintenance works.

Keywords: rationing of fuel consumption, mining dump trucks, energy criterion, transport work, route parameters, specific fuel consumption

Acknowledgments: This work was performed as part of the FWES 2026-0004 core project.

For citation: Vashlaev I.I., Morin A.S., Mikhailov A.G., Azev V.A., Ignatova O.S. Improving rationing of fuel consumption for surface mining dump trucks (using the case of Mairysky coal strip mine). *Russian Mining Industry*. 2026;(4):106–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4-106-113>

Введение

На открытых горных работах России и в странах СНГ удельный вес карьерного автотранспорта составляет около 75%. Широкое применение автомобильного транспорта объясняется его высокими технико-экономическими показателями, автономностью и маневренностью, возможностью применения в сложных стесненных условиях глубоких карьеров при оптимальном расстоянии транспортирования до 3–5 км. Из всех процессов открытой разработки транспортирование горной массы является наиболее трудоёмким, затраты на перемещение горной массы составляют 55–70% от общих затрат горного производства.

Карьерные автосамосвалы – основной элемент транспортной системы горнодобывающих предприятий. Их эффективность непосредственно влияет на себестоимость добычи полезных ископаемых. Одним из важнейших показателей эксплуатационной экономичности является удельный расход топлива, отражающий затраты энергии на единицу выполненной работы [1–3]. Энергетический показатель позволяет учесть не только объем потребляемого топлива, но и энергетические потери, связанные с условиями эксплуатации. Использование этого показателя при технико-экономическом обосновании применяемых в карьере технологий повышает точность решений, связанных с организацией и планированием горных работ. В связи с этим проблема нормирования расхода топлива для карьерных самосвалов имеет высокую актуальность [4–10].

Результаты

Расход топлива карьерного самосвала нормируется в л/100 км или в г/(т·км) для усреднённых условий эксплуатации¹ [11]. Линейные нормы расхода топлива на 100 км пробега для автосамосвалов БелАЗ пригодны лишь для укрупнённого планирования. В 1980-х годах были разработаны временные нормы расхода топлива для автосамосвалов грузоподъемностью 75–180 т, учитывавшие конкретные горнотехнические и климатические условия эксплуатации. Эти дифференцированные нормы не были утверждены вышестоящими инстанциями, но применялись в горной отрасли много лет.

Однако при современных масштабах горных работ, широкой линейке используемых самосвалов, многообразии

условий их эксплуатации даже дифференцированные нормы расхода топлива не могут в полной мере учесть многочисленные факторы при определении прогнозных значений расхода топлива и соответственно снижается надежность планирования и управления транспортом. Для оптимизации управления транспортным процессом и планирования затрат на перемещение горной массы необходимы индивидуальные нормы потребления энергетических ресурсов на каждом конкретном карьере. Естественно, потребность в обозначенных нормативах возникает и для новых выпускаемых моделей самосвалов.

Нормативы расхода топлива разрабатываются на основании экспериментальных исследований. В существующих нормативах² расход топлива самосвалов определен для средних дорожных условий – на каждые 0,5 км длины маршрута при плече откатки горной массы до 5 км и на каждый 1 км длины при плече откатки от 5 до 10 км с учетом высоты подъема (спуска) горной массы до 400 м с интервалом 25 м. Хотя в приложении к нормам не приводится методика их получения, очевидно, что найти дорожные условия для всего диапазона вышеуказанных параметров практически невозможно. Следовательно, при разработке этих нормативов применялись расчетные методы, которые, как показала практика планирования транспортных работ в карьере, слабо учитывали специфику условий эксплуатации самосвалов. Использование указанных нормативов нередко приводило к значительным расхождениям ожидаемых показателей расхода топлива с фактическими. В наибольшей степени этот недостаток проявляется для глубоких карьеров. Кроме того, при проектировании и планировании горных работ для таких карьеров необходимо было учитывать транспортную работу [9].

В работах [10; 11] предложена более совершенная и точная методика расчета расхода топлива, основанная на использовании горизонтального эквивалента профиля трассы самосвала с учетом следующих параметров: качество дорожного полотна, длина и величина уклона каждого участка трассы, коэффициенты использования грузоподъемности и тары самосвала, КПД двигателя и трансмиссии. В общем виде формула приведенного расстояния транс-

¹ Распоряжение Минтранса РФ №АМ-13-р от 14.03.2008, №НА-50-р от 14.05.2014, №НА-80-р от 14.07.2015.

² Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте». М.: Компания «Автополис-плюс»; 2008. 104 с.; Дифференцированные нормы расхода горюче-смазочных материалов для большегрузных автосамосвалов БелАЗ-540А, БелАЗ-548А и КрАЗ-256Б: утв. МЧМ СССР 23.07.1976. Свердловск: ИГД МЧМ СССР; 1976. 73 с.

портирования выражается как функция высоты подъёма (спуска) груза и имеет следующий вид:

$$L_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^n L_j + 0,001 \sum_{j=1}^n i_j L_j \mathcal{E}_j, \text{ м}, \quad (1)$$

где L_j , i_j и $\mathcal{E}_j$ – соответственно длина, уклон и коэффициент приведения j -го участка трассы, $j = \overline{1, n}$.

Коэффициенты приведения на подъём груза $\mathcal{E}_\text{п}$ и спуск порожнего самосвала $\mathcal{E}_\text{с}$ на участке трассы с уклоном i , ‰, и удельным основным сопротивлением движению ω_0 , Н/кН, могут быть определены по следующим формулам:

$$\mathcal{E}_\text{п} = \frac{1000 K_\Gamma}{\omega_0 (K_\Gamma + K_\tau)}, \text{ м/м}; \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_\text{с} = - \frac{1000 K_\Gamma}{\omega_0 (K_\Gamma + K_\tau)}, \text{ м/м}; \quad (3)$$

– при $i > \omega_0$

$$\mathcal{E}_\text{п} = \frac{1000 (K_\Gamma + K_\tau (1 - \frac{\omega_0}{i}))}{\omega_0 (K_\Gamma + 2K_\tau)}, \text{ м/м}; \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_\text{с} = \frac{1000 (K_\tau - (K_\Gamma + K_\tau) \frac{\omega_0}{i})}{\omega_0 (K_\Gamma + 2K_\tau)}, \text{ м/м}, \quad (5)$$

где K_τ – коэффициент тары автосамосвала; K_Γ – коэффициент использования грузоподъёмности.

Средневзвешенное удельное сопротивление движению для трассы

$$\omega_{\text{ср}} = (\sum_{j=1}^n \omega_{0j} L_j + 0,001 \sum_{j=1}^n \omega_{0j} i_j L_j \mathcal{E}_j) / L_{\text{пр}}, \text{ Н/кН}, \quad (6)$$

здесь ω_{0j} – удельное основное сопротивление движению для j -го участка трассы, $j = \overline{1, n}$, Н/кН.

Для сопоставимости результатов сравнения удельного расхода топлива на трассах с различным качеством дорожного покрытия фактическое приведенное расстояние транспортирования необходимо привести к эталонному (базовому) через удельное эталонное сопротивление движению $\omega_{0\text{эт}}$

$$L_{\text{пр}}^{\text{эт}} = L_{\text{пр}} \omega_{\text{ср}} / \omega_{0\text{эт}}, \text{ м}. \quad (7)$$

В качестве эталонной дороги нами рекомендуется дорога со щебёночным покрытием с удельным сопротивлением движению $\omega_{0\text{эт}} = 30$ Н/кН.

Расчётный расход топлива наиболее достоверно может быть установлен по выполняемой самосвалом работе за один рейс [10]:

$$A = L_{\text{пр}} \omega_0 g q (K_\Gamma + 2K_\tau), \text{ Дж}, \quad (8)$$

где q – грузоподъёмность самосвала, т; g – ускорение свободного падения, м/с².

Расчётный расход топлива за один рейс

$$E_\text{р} = L_{\text{пр}} \omega_0 g q (K_\Gamma + 2K_\tau) / (q_{\text{т.с}} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{тр}}), \text{ кг}, \quad (9)$$

где $q_{\text{т.с}} = 41\,868 \cdot 10^3$ Дж/кг – удельная теплота сгорания дизельного топлива; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя внутреннего сгорания; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии.

Расчётный расход топлива конкретного автосамосвала с учетом климатических условий, изношенности двигателя и высоты расположения карьера над уровнем моря составит

$$E_{\text{рф}} = E_\text{р} k_3 k_\text{и} k_\text{у}, \text{ кг}, \quad (10)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий повышение расхода топлива в зимний период ($k_3 = 1,20$ – Крайний Север, $1,15$ – северная зона, умеренный климат, $1,05$ – южная зона); $k_\text{и}$ – коэффициент, учитывающий степень изношенности двигателя: при моторесурсе до 500 ч он равен 0,88, 500–1000 ч – 0,92, 1000–1500 ч – 0,96, 1500–2000 ч – 1,00, 2000–2500 ч – 1,04, 2500–3000 ч – 1,08, 3000–3500 ч – 1,12 и более 3500 ч – 1,16; $k_\text{у}$ – коэффициент, учитывающий высоту расположения карьера над уровнем моря, при высоте более 1500 м принимается равным 1,1.

Удельный расход топлива на единицу транспортной работы (т·км) с учётом фактического расстояния транспортирования определяется по формуле

$$e_{\text{рф}} = 10^6 E_{\text{рф}} / (q_\Gamma L_\Phi), \text{ г/(т·км)} \quad (11)$$

где q_Γ – масса груза в кузове самосвала; L_Φ – фактическая длина трассы.

Аналогично определяется удельный расход топлива для приведенного расстояния транспортирования по горизонтальной дороге

$$e_{\text{рпр}} = 10^6 E_\text{р} / (q_\Gamma L_{\text{пр}}), \text{ г/(т·км)} \quad (12)$$

Для сравнительной оценки расхода топлива самосвалами БелАЗ-75131 был выполнен анализ фактических данных об их работе на угольном разрезе «Майрыхский» (республика Хакасия, Россия) в зимних и летних условиях (5 февраля и 7 июля 2025 г.). Профиль и план трассы приведены на рис. 1 и 2. Параметры трасс указаны в табл. 1. Удельные сопротивления движению приняты на основании литературных источников [4; 12–17], хотя для более достоверного анализа необходимы экспериментальные данные. Обобщённые характеристики трасс сведены в табл. 2.

Используемый на разрезе самосвал БелАЗ-75131 характеризуется следующими параметрами: грузоподъёмность 130 т и коэффициент тары 0,77. Расчёты расхода топлива для самосвалов БелАЗ-75131 выполнялись с использованием отчётных данных об их работе в разрезе за 5 февраля и 7 июля 2025 г. Результаты расчётов расхода топлива по одной из смен приведены в табл. 3.

Коэффициент использования грузоподъёмности самосвалов за весь период наблюдений колеблется в границах 1,04–1,07, составляя в среднем по трём сменам 1,06, и лишь в одной смене он равен 1,04. Это свидетельствует о равномерной и полной загрузке самосвалов.

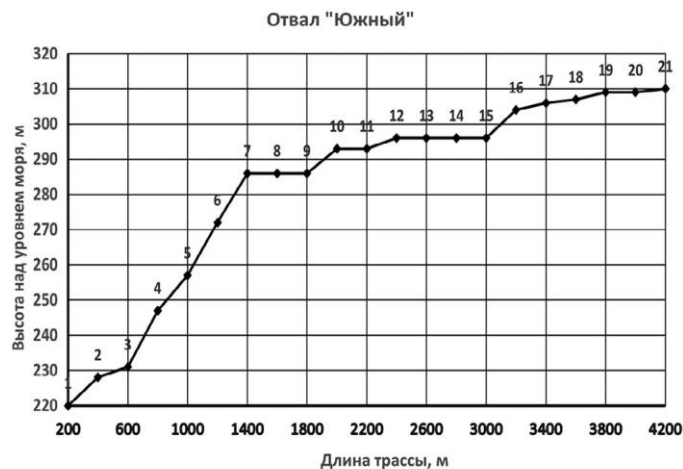


Рис. 1
Профиль автодороги для
перевозки вскрышных пород
на 5 февраля 2025 г.

Fig. 1
A profile of a motor road for
overburden removal as of
February 5th, 2025

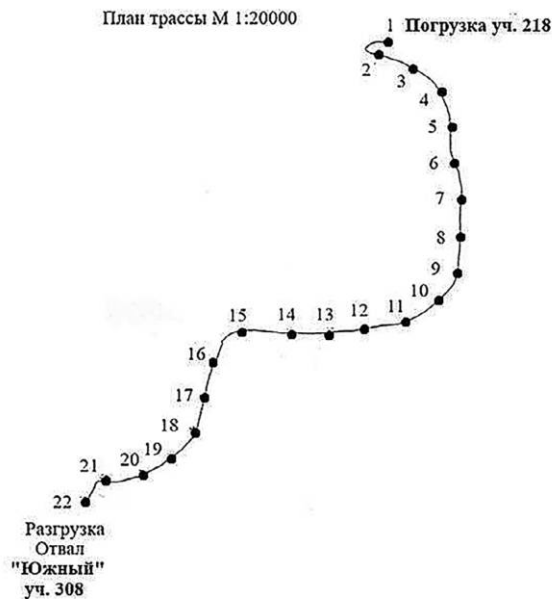


Рис. 2
План автодороги для
перевозки вскрышных пород
по маршруту участок 218 –
отвал «Южный»

Fig. 2
A plan of the motor road
for overburden removal along
the “Section 218 – Yuzhny
waste dump” route

Таблица 1
Параметры автомобильных трасс

Table 1
Parameters of the motor road routes

Отвал «Южный» на 05.02.2025 г.										
№ пп	Участок	Высота над уровнем моря, м		Высота участка, м	Суммарная высота трассы, м	Уклон участка, ‰	Длина участка, м	Суммарная длина участка, м	Тип дорожного покрытия	$\varphi_{0, j}$, Н/кН
		начало	конец							
1	1-2	220	228	8	8	35,09	200	200	Низшие	40
2	2-3	228	231	3	11	12,99	200	400	Низшие	40
3	3-4	231	247	16	27	64,78	200	600	Низшие	40
4	4-5	247	257	10	37	38,91	200	800	Низшие	40
5	5-6	257	272	15	52	55,15	200	1000	Низшие	40
6	6-7	272	286	14	66	48,95	200	1200	Облегченные	15
7	7-8	286	286	0	66	0,00	200	1400	Облегченные	15
8	8-9	286	286	0	66	0,00	200	1600	Облегченные	15
9	9-10	286	293	7	73	23,89	200	1800	Переходные	25
.....										
20	20-21	309	310	1	90	3,23	200	4000	Низшие	40
21	21-22	310	310	0	90	0,00	200	4200	Низшие	40
Отвал «Южный» (на 07.07.2025 г.)										
1	1-2	250	250	0	0	0,00	200	200	Низшие	40
2	2-3	250	267	17	17	63,67	200	400	Низшие	40
.....										
10	10-11	292	300	8	50	26,67	200	2000	Переходные	25
11	11-12	300	305	5	55	16,39	200	2200	Переходные	25
12	12-13	305	305	0	55	0,00	200	2400	Облегченные	15
13	13-14	305	305	0	55	0,00	200	2600	Облегченные	15
14	14-15	305	305	0	55	0,00	200	2800	Облегченные	15
15	15-16	305	305	0	55	0,00	200	3000	Облегченные	15
16	16-17	305	305	0	55	0,00	200	3200	Облегченные	15
17	17-18	305	305	0	55	0,00	200	3400	Низшие	40

Таблица 2

Характеристики трасс для транспортирования вскрыши

Дата	Длина трассы, м		Средний уклон, ‰	Принятое значение среднего удельного сопротивления движению, Н/кН
05.02.2025	4200	5397	21,42	30,55
07.07.2025	3400	4570	16,18	28,84

Table 2

Characteristics of overburden removal routes

Таблица 3

Пример расчёта расхода топлива БелАЗ-75131 №1110 за смену

№ рейса	L _ф , м	L _{пр} , м	K _г	A, Дж	E _р , кг	E _р , л	e _р ф, г/(т·км)	e _р пр, г/(т·км)
1	4040	5237	1,06	529 652 826	40,2	47,8	73,6	60,9
2	4086	5283	1,05	533 961 178	40,5	48,2	74,2	61,4
.....								
23	4169	5366	1,04	540 294 260	41,0	48,8	75,0	62,1
24	4012	5209	1,06	527 482 160	40,0	47,6	73,3	60,6

Table 3

An example of per shift fuel consumption calculation for BelAZ-75131 No.1110

Таблица 4

Сводные показатели процесса транспортирования вскрышных пород

Данные от 5 февраля 2025 г., БелАЗ-75131 №1110								
№ смены	Количество рейсов	Сумма расстояний транспортирования, км	Среднее расстояние транспортирования, км	Среднее время рейса, мин	Пробег, км		Средняя скорость, км/ч	
					из отчёта по рейсам	из отчёта по топливу	из отчёта по рейсам	из отчёта по топливу
1	24	98,79	4,116	31,06	197,58	200,30	19,33	23,61
2	24	100,42	4,184	29,98	200,84	200,39	21,14	22,81
Данные от 7 июля 2025 г., БелАЗ-75131 № 1105								
1	26	89,12	3,43	28,30	178,24	179,6	17,82	22,56
2	27	94,22	3,63	27,19	188,44	189,6	15,96	21, 61

Table 4

Summary indicators of the overburden haulage process

Таблица 5

Показатели расхода топлива за один рейс самосвала

Коэффициент грузоподъёмности K _г	Показатели						
	расчётные			фактические		нормативные	
	E _р , л	e _р ф, г/(т·км)	e _р пр, г (т·км)	E _ф , л	e _ф , г/(т·км)	E _н , л	e _н , г/(т·км)
05.02.2025 смена 1 БелАЗ-75131 №1110							
1,06	48,5	74,6	61,7	28,45	42,38	37,71	56,17
05.02.2025 смена 2 БелАЗ-75131 №1110							
1,06	49,1	75,6	62,5	35,46	51,96	37,73	55,29
07.07.2025 смена 1 БелАЗ-75131 №1105							
1,04	34,4	62,4	53,9	27,59	49,32	31,23	55,83
07.07.2025 смена 2 БелАЗ-75131 №1105							
1,06	35,0	63,6	54,9	31,91	55,90	31,72	55,57
Среднее значение		69,05	58,25		49,89		55,71

Table 5

Fuel consumption per dump truck round trip

Сводные показатели процесса транспортирования вскрышных пород указаны в табл. 4. Отчётные данные, использованные при составлении табл. 4, являются корректными. В столбце «из отчета по рейсам» приведены данные о средней скорости движения самосвалов в течение полного цикла рейса. В зимний период скорость движения несколько выше относительно летнего периода на 4,8%. Скорость движения в ночное время на 3,4–3,6% ниже, чем в дневное.

По методике, изложенной выше, были рассчитаны расходы топлива самосвала за каждый рейс по всем четырем сменам. Так как отчеты по топливу даны по каждому самосвалу только по итогам смены, то показатели расхода топлива пересчитали как среднее за рейс. Средние показатели расхода топлива по различным оценкам сведены в табл. 5. Для сопоставимости результатов приведены удельные расходы топлива. Нормативные данные расхода топлива (табл. 5) превышают фактический в среднем на 10,4%.

Вызывают сомнения низкие значения фактического расхода топлива, минимальная величина которого согласно отчётным данным достигает 42,38 г/(т·км). Благодаря многочисленным исследованиям [12–17] известно, что фактический расход топлива у современных самосвалов превышает 50 г/(т·км) и в среднем составляет около 100 г/(т·км). Как видно из отчетных данных, нормативы не учитывают изменения параметров трасс: в феврале трасса имела уклон 21,4%, а в июне 16,2%, а нормы расхода одинаковые. Удельные энергетические затраты для летнего маршрута меньше на 13%, соответственно и нормы должны быть уменьшены. Это еще раз подтверждает наши и других исследователей утверждения о необходимости учета в нормах расхода топлива энергетических показателей.

Расчётный расход топлива оказался выше нормативного на 23,4%, что объясняется принятыми нами завышенными значениями удельного сопротивления движению

на отдельных участках трассы. Поэтому для получения объективных расчетных данных необходимо провести небольшие эксперименты по определению удельного сопротивления движению на дороге маршрута транспортирования. При соответствии удельных сопротивлений движению по каждому участку трассы реальному качеству дорожного полотна значения в столбцах табл. 5 в группе «расчетные» будут являться нормативными для конкретного маршрута трассы.

Зная фактический расход топлива, по формулам (9) и (10) можно определить среднее удельное сопротивление движению на конкретном маршруте. Например, при расходе 55,90 г/т·км среднее удельное сопротивление движению на трассе должно быть 23,2 Н/кН. Такому значению должна соответствовать дорога с очень качественным покрытием.

Заключение

В представленной работе была апробирована новая методика нормирования расхода топлива карьерных самосвалов, которая учитывает технические и эксплуатационные параметры самого автомобиля и горнотехнические параметры карьера.

Нормативы расхода топлива, принятые на предприятии, не учитывают уклон трассы и высоту подъема горной массы. Выявлено существенное расхождение между нормативными данными и фактическими (нормативный расход топлива превышает фактический в среднем на 10,4%).

Предложенная методика расчета расхода топлива после небольших уточняющих экспериментов может быть внедрена на предприятии. Кроме того, методика приведения трассы транспортирования к горизонтальному эквиваленту может использоваться в управлении карьерным транспортом на открытых горных работах. Область применения: планирование, нормирование, управление режимом горных работ, управление дорожными работами.

Список литературы / References

1. Тангаев И.А. *Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых*. М.: Недра; 1986. 231 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-processov-dobychi-i-pererabotki-poleznyh-iskopaemyh.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
2. Коваленко В.А., Тангаев И.А. *Энергоёмкость как универсальный критерий производства*. В кн.: Коваленко В.А. (ред.) *Передовые технологии на карьерах: сб. докл. конф., Кыргызская Республика, озеро Иссык-Куль, 7–11 сентября 2015 г.* Бишкек; 2015. С. 5–10.
3. Ворошилов Г.А., Лель Ю.И. Энергоемкость транспортных систем карьеров: оценка и перспективы. *Горная техника*. 2009;(1):42–49. Режим доступа: <https://stroit.ru/stati/energoemkost-transportnyh-sistem-karerov-otsenka-i-perspektivy/> (дата обращения: 28.02.2026).
Voroshilov G.A., Lel' Yu.I. Energy intensity of in-pit transport systems: an assessment and prospects. *Gornaya Tekhnika*. 2009;(1):42–49. (In Russ.) Available at: <https://stroit.ru/stati/energoemkost-transportnyh-sistem-karerov-otsenka-i-perspektivy/> (accessed: 28.02.2026).

4. Лель Ю.И., Зырянов И.В., Ильбульдин Д.Х., Мусихина О.В., Глебов И.А. Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2017;(4):66–71. Режим доступа: <https://iuggu.ru/download/Lel-4-17+.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
Lel' Yu.I., Zyryanov I.V., Il'bul'din D.H., Musikhina O.V., Glebov I.A. Methods of rational fuel consumption by the dump trucks in deep pits. *Izvestiya Uralskogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta*. 2017;(4):66–71. (In Russ.) Available at: <https://iuggu.ru/download/Lel-4-17+.pdf> (accessed: 28.02.2026).
5. Лель Ю.И., Арефьев С.А., Глебов А.В., Ильбульдин Д.Х. К вопросу оценки качества карьерных автодорог. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2016;(3):70–73. Режим доступа: <https://www.iuggu.ru/download/Lel-3-16.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
Lel' Yu.I., Aref'ev S.A., Glebov A.V., Il'bul'din D.Kh. The issue of quality assessment of quarry roads. *Izvestiya Uralskogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta*. 2016;(3):70–73. (In Russ.) Available at: <https://www.iuggu.ru/download/Lel-3-16.pdf> (accessed: 28.02.2026).
6. Аксенов В.В., Пашков Д.А., Дубинкин С.Д. Методики расчета расхода топлива карьерных самосвалов. *Уголь*. 2024;(S11):102–107. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2411S102.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
Aksenov V.V., Pashkov D.A., Dubinkin S.D. Methods for calculating the fuel consumption of mining dump trucks. *Ugol'*. 2024;(S11):102–107. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/artpdf/RU2411S102.pdf> (accessed: 28.02.2026).
7. Zhang X., Mi C. *Vehicle power management: modeling, control and optimization*. London: Springer; 2011. 346 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-736-5>
8. Wong J.Y. *Theory of ground vehicles*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2001. 528 p.
9. Белозеров В.И. Основания горнотранспортного анализа для карьеров. *Горная промышленность*. 2025;(1):36–39. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-36-39>
Belozerov V.I. Fundamentals of mining transportation analysis for open pit mines. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):36–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-36-39>
10. Вашлаев И.И., Селиванов А.В. Определение горизонтального эквивалента автомобильной трассы в карьере по энергетическому критерию. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(8):175–177.
Vashlaev I.I., Selivanov A.V. Definition of the horizontal equivalent of an in-pit motor road using the energy criterion. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(8):175–177. (In Russ.)
11. Вашлаев И.И., Михайлов А.Г., Демченко И.И., Игнатова О.С. Методика расчета расхода топлива карьерных автосамосвалов на основе приведения горнотехнических факторов к единому показателю. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2025;(5):163–171. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-5-163-171>
Vashlaev I.I., Mikhailov A.G., Demchenko I.I., Ignatova O.S. Methodology for calculating fuel consumption of quarry dump trucks based on reducing mining factors to a single indicator. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2025;(5):163–171. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-5-163-171>
12. Полозов Д.И. Анализ факторов влияющих на повышенный расход топлива карьерных автосамосвалов марки БелАЗ на ООО «Восточно-Бейский разрез». В кн.: *Ресурсосберегающие технологии в контроле, управлении качеством и безопасности: сб. науч. тр. 11-й Междунар. конф. школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск, 8–10 нояб. 2022 г.* Томск: НИ ТПУ; 2023. С. 195–198. Режим доступа: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/74672/1/conference_tpu-2022-C47_V2_p195-198.pdf (дата обращения: 28.02.2026).
13. Гартман А.А., Андреев Ю.Г., Горбунов А.Ю., Захаров С.И. Методика статистического анализа удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами на предприятиях открытого способа добычи угля. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2022;(5):72–80. Режим доступа: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=4149> (дата обращения: 28.02.2026).
Gartman A.A., Andreev Yu.G., Gorbunov A.Y., Zakharov S.I. Method of statistical analysis of diesel fuel specific consumption in the process of transportation of rock mass by truck at open coal mining enterprises. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022;(5):72–80. (In Russ.) Available at: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=4149> (accessed: 28.02.2026).
14. Вишняков Г.Ю., Ботян Е.Ю., Розов Р.А., Пушкарев А.Е. Уточнение методики нормирования расхода топлива карьерных автосамосвалов в сложных горнотехнических условиях. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(4):12–19. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-4-12-19>
Vishnyakov G.Yu., Botyan E.Yu., Rozov R.A., Pushkarev A.E. Refinement of the methodology for rationing fuel consumption of open pits haul trucks in difficult mining conditions. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(4):12–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-4-12-19>
15. Лель Ю.И., Глебов А.В., Мусихина О.В. К вопросу повышения точности оценки показателей эксплуатации карьерных автосамосвалов. *Горное оборудование и электромеханика*. 2015;(8):24–29.
Lel' Yu.I., Glebov A.V., Musikhina O.V. By evaluating mining conditions pit dump. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015;(8):24–29. (In Russ.)

16. Канзычаков С.В., Азев В.А., Хажиев В.А., Леванов И.Г., Маслюков С.П. Методический подход к повышению эффективности использования ресурса двигателя внутреннего сгорания Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 на примере разреза «Черногорский». *Уголь*. 2024;(11):87–93. Режим доступа: <https://ugolino.ru/artpdf/RU2411087.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
Kanzychakov S.V., Azev V.A., Khazhiev V.A., Levanov I.G., Maslyukov S.P. Methodical approach to enhancing the resource utilization efficiency of the Cummins QSK-60 internal combustion engine with BelAZ-75306 dump trucks using the case of Chernogorsky open-pit mine. *Ugol'*. 2024;(11):87–93. (In Russ.) Available at: <https://ugolino.ru/artpdf/RU2411087.pdf> (accessed: 28.02.2026).
17. Пурэвтогтох Б., Бямбадагва Б., Энхчулуун Б. Дифференциально-аналитический и графоаналитический методы определения расхода топлива карьерных автосамосвалов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3-1):557–567. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-557-567>
Purewtogtoh B., Byambadagwa B., Enchuluun B. The determination of the fuel consumption of mining dump trucks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(3-1):557–567. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-557-567>

Информация об авторах

Вашлаев Иван Иванович – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории минеральных ресурсов, Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук; доцент кафедры горных машин и комплексов Института цветных металлов, Сибирский федеральный университет; г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-7174-040X>; e-mail: vash49@gmail.com

Морин Андрей Степанович – доктор технических наук, заведующий кафедрой горных машин и комплексов Института цветных металлов, Сибирский федеральный университет; г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0008-0440-3241>; e-mail: amorin@sfu-kras.ru

Михайлов Александр Геннадьевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией минеральных ресурсов, Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук; профессор кафедры горных машин и комплексов Института цветных металлов, Сибирский федеральный университет; г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5537-7479>; e-mail: alemikhal@gmail.com

Азев Владимир Александрович – доктор технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, машиностроения и автомобильного транспорта Хакасского технического института, Сибирский федеральный университет; технический директор, ООО «СУЭК–Хакасия», г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0000-3835-7396>; e-mail: AzevVA@suek.ru

Игнатова Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры Сибирский федеральный университет; г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0002-2870-3966>; e-mail: oignatova@sfu-kras.ru

Information about the authors

Ivan I. Vashlaev – Cand. Sci. (Eng.), Researcher, Mineral Resources Laboratory, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor, Department of Mining Machines and Complexes, Institute of Non-Ferrous Metals, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7174-040X>; e-mail: vash49@gmail.com

Andrey S. Morin – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Mining Machines and Complexes, Institute of Non-Ferrous Metals, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0008-0440-3241>; amorin@sfu-kras.ru

Alexander G. Mikhailov – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Mineral Resources Laboratory, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor, Department of Mining Machines and Complexes, Institute of Non-Ferrous Metals, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5537-7479>; alemikhal@gmail.com

Vladimir A. Azev – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Mechanical Engineering and Road Transport, Khakass Technical Institute, Siberian Federal University; Technical Director of SUEK-Khakassia LLC, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0000-3835-7396>; e-mail: AzevVA@suek.ru

Olga S. Ignatova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, Institute of Non-Ferrous Metals, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0002-2870-3966>; e-mail: oignatova@sfu-kras.ru

Article info

Received: 30.03.2026

Revised: 04.05.2026

Accepted: 18.05.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 30.03.2026

Поступила после рецензирования: 04.05.2026

Принята к публикации: 18.05.2026