

Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-12-19

Вишняков Георгий Юрьевич^{1*}, Ботян Евгений Юрьевич¹, Розов Роман Александрович¹, Пушкарев Александр Евгеньевич²¹Санкт-Петербургский горный университет²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*E-mail: geroibeka@yandex.ru

**УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА
КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ****Информация о статье**

Поступила:

02 июня 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 июля 2022 г.

Принята к печати:

04 августа 2022 г.

Ключевые слова:

автосамосвал, горные машины, расход топлива, нормирование, методика, фактор, полная работа.

Аннотация.

Независимо от размера транспортной машины, доля расходов на топливо в общей массе эксплуатационных расходов по разным данным составляет порядка 30%. Основным документом, согласно которому ведется нормирование расхода топлива на предприятиях в Российской Федерации, в том числе и на карьерах, является «Нормы расхода топлив для автомобилей» в редакции распоряжения Минтранса России. Однако, данная методика в недостаточной мере учитывает специфику использования карьерных автосамосвалов и горно-геологические условия, что приводит к существенным расхождению расчетных значений расхода дизельного топлива с фактическими эксплуатационными показателями. В статье выполнен анализ факторов, оказывающих влияние на расход топлива карьерных автосамосвалов, произведена оценка степени этих факторов на расход топлива. Факторы разделены на основные и те, что оказывают второстепенное влияние и могут не учитываться или же быть обобщены в сводные поправочные коэффициенты. В результате аналитического исследования предложена уточненная методика нормирования расхода дизельного топлива, основанная на расчете расхода топлива через полную работу, совершаемую карьерным автосамосвалом при совершении технологических операций, на 100 км пробега. Предложенная методика характеризуется более комплексным подходом в сравнении с распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации.

Для цитирования: 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 (162). С. 12-19. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-12-19

В настоящий момент предприятиями горной отрасли в России при создании документов, учитывающих нормы расхода топлива парком техники карьерных автосамосвалов, является документ «Нормы расхода топлив для автомобилей» в редакции распоряжения Минтранса России от 14.07.2015 N НА-80-р [1], согласно которому расход топлива автосамосвалом при выполнении одного рейса определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{топл}} = qK_q \left[(1 + 2k_T)L \frac{\omega_o}{1000} + \frac{h(1+K_T)}{1000} \right] K_{\text{сп}}, \quad (1)$$

где: $Q_{\text{топл}}$ – расход топлива за один рейс, л/рейс; K_q – коэффициент использования грузоподъемности; K_T – коэффициент тары автосамосвала; q –

грузоподъемность автосамосвала, т; ω_o – удельное сопротивление качению; h – высота подъема, м; $K_{\text{сп}}$ – коэффициент, отражающий специфику ведения горных работ.

Последний же определяется исходя из следующего выражения:

$$K_{\text{сп}} = k_{\text{тяж}} k_3 k_n, \quad (2)$$

где: $k_{\text{тяж}}$ – коэффициент, учитывающий повышенный расход топлива при работе в тяжелых условиях; k_3 – коэффициент расхода в холодное время года; k_n – расход топлива на внутригаражные работы. Вышеперечисленные коэффициенты определяются на каждом из предприятий эмпирическим

способом, и зачастую, принимаются в диапазоне $1 \div 1,1$, согласно нормативным документам.

Тем самым, при анализе данной методики можно установить, что в ней производится лишь грубый учет геометрических параметров трассы и климатических условий [6].

В связи с этим, возникает необходимость вывода формулы, позволяющей более точно отразить влияние прочих факторов, для чего следует решить следующие задачи:

- 1) провести анализ факторов, оказывающих влияние на значение величины расхода топлива автосамосвалом;
- 2) оценить степень влияния факторов;
- 3) на основе анализа вывести расчетную формулу, учитывающую все эти параметры.

Анализ факторов

На расход топлива автосамосвала оказывает влияние большое число различных факторов. Основными группами этих факторов являются:

- конструкция автосамосвала;
- техническое состояние автомобиля;
- качество применяемых ГСМ (горюче-смазочных жидкостей);
- квалификация водителя;
- дорожные условия:

А) ширина дорожного профиля;

Б) продольный профиль;

В) количество поворотов на 1 км пути;

Г) коэффициент сопротивления качению;

- условия движения:

А) с грузом на подъем, спуск порожняком;

Б) порожняком на подъем, спуск с грузом;

В) движение по ровному участку;

Г) расстояние транспортирования;

Д) интенсивность маневрирования;

Е) скорость движения;

Ж) неравномерность движения;

- весовое состояние автомобиля и использование пробега;

- метеоусловия:

А) влияние осадков на коэффициент сопротивления качению;

Б) затраты мощности двигателя на систему охлаждения;

В) повышение расхода топлива на дополнительные сопротивления в трансмиссии.

При уточнении норм расхода топлива должны учитываться те факторы, которые могут быть сравнительно легко определены в процессе эксплуатации автосамосвалов и которые составляют значительную часть величины расхода топлива. Исходя из этого, следует разделить все факторы на две категории: основные и второстепенные.

К основным следует отнести те факторы, при варьировании которых значительно изменяется

величина расхода топлива. Их определение возможно в процессе эксплуатации. Соответственно, факторы данной категории обязательны при учете нормировании расхода топлива.

К вспомогательным факторам необходимо отнести те, изменение которых влечет за собой несущественное изменение расхода топлива [2-4]. Из обозначенных выше групп факторов к таковым относится большинство. Их изменение в процессе эксплуатации оценить зачастую невозможно. Поэтому часть из них с небольшой погрешностью можно пренебречь, а другую часть – объединить и учесть при помощи поправочных коэффициентов.

С целью систематизации обозначенных выше групп факторов по этим категориям следует рассмотреть влияние каждой из них подробнее.

Конструкция автомобиля и ГСМ

В виду того, что нормы расхода топлива следует определять для каждой конкретной модели автосамосвала отдельно, то его конструкция может быть отнесена к категории вспомогательных. Аналогичным образом можно поступить с ГСМ, так как для конкретной модели самосвала они устанавливаются заводом-изготовителем [5-7].

Техническое состояние автосамосвала

В виду невозможности эксплуатации неис-

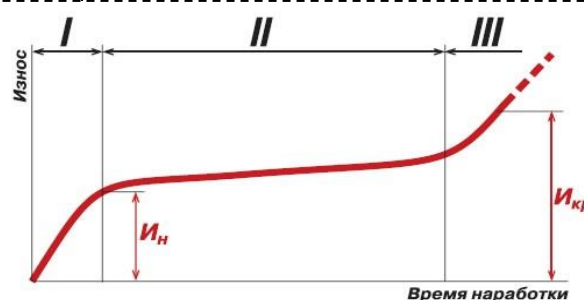


Рис. 1. Диаграмма износа цилиндро-поршневой группы
Fig. 1. Cylinder-piston group wearing process diagram

правных автосамосвалов согласно действующему законодательству, следует рассматривать только естественный износ узлов техники в процессе функционирования [8, 9]. Известный характер износа деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) в ходе эксплуатации описывается диаграммой, представленной на рис 1.

Из представленной диаграммы видно, что в первый период работы двигателя (зона 1) наблюдается повышенный износ, что является периодом приработки деталей ЦПГ, продолжительность которого соответствует примерно 1000 км пробега [10, 11]. В данный период происходит повышенное трение во всех узлах двигателя, что приводит к увеличению расхода топлива. Следовательно, требуется временное увеличение нормы расхода топлива после его ввода в эксплуатацию.

Вторая зона описывает основную эксплуатационную работу двигателя. Данная зона описывает пробег автосамосвала до значений в 100-150 тыс. км. Износ ЦПГ в данной зоне незначителен и компенсируется упругостью поршневых колец. Поэтому

му практически заметного увеличения расхода топлива в данной зоне не наблюдается.

В зоне 3 наблюдается повышенный износ ЦПГ. В этот период двигатель следует снять с эксплуатации с целью проведения капитального ремонта. Эксплуатация двигателя в данной зоне недопустима, так как повышение расхода топлива влечет за собой дополнительный износ двигателя.

Относительно влияния расхода топлива технического состояния ТНВД (топливный насос высокого давления) можно сказать следующее. По мере увеличения зазоров в плунжерной паре необходимо на специальном стенде измерять регулировку ТНВД [12], что рекомендуется заводом-изготовителем производить два раза в год. Запаса регулировок ТНВД с избытком хватает на весь срок службы двигателя.

Таким образом, при поддержании в удовлетворительном состоянии топливной системы и герметичности клапанов газораспределительного механизма расход топлива возрастает незначительно вплоть до отправки двигателя на капитальный ремонт. Следовательно, этот фактор расхода топлива также нельзя отнести к категории основных. Его необходимо учитывать лишь с целью определения конструктивных параметров двигателя.

Квалификация водителя

Данный фактор оказывает заметное влияние на расход топлива. В одних и тех же условиях, водитель высокой квалификации может обеспечить

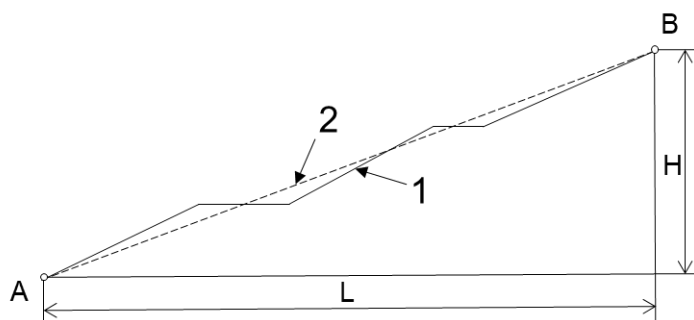


Рис. 2. Профиль трассы движения автосамосвала
Fig. 2. Profile of the haul truck route

на 10% меньшее значение величины расхода топлива, чем водитель средней квалификации, а водитель низкой квалификации может иметь расход на 10% больший, чем водитель средней квалификации [13-15].

Таким образом, необходимо ориентировать нормы расхода топлива на водителей средней квалификации с тем, чтобы, с одной стороны, стимулировать профессиональный рост малоопытных водителей, а с другой – обеспечить поощрение высококвалифицированных водителей. Поэтому уровень квалификации водителей также не следует относить к основной категории факторов.

Дорожные условия

А) ширина дорожного полотна;

Недостаточная ширина дорожного полотна ограничивает среднюю скорость движения и приводит к неравномерному движению и влияет на

коэффициент K_n . В виду того, что она учитывается в поправочном коэффициенте, данный фактор относится к категории второстепенных

Б) Продольный профиль;

Высота подъема оказывает большое влияние на расход топлива. Поэтому ее можно отнести к категории основных факторов. Однако, разницу профилей трассы типа 1 и 2 (рис. 2) с точки зрения расхода топлива необходимо рассматривать только как приводящую к неравномерному движению. Влияние этого фактора на расход топлива можно учесть через коэффициент неравномерности K_n и тем самым его необходимо отнести к категории второстепенных факторов.

Количество поворотов на плане на 1 км пути влияет только как фактор, приводящий к неравномерному движению. Следовательно, также может быть отражен в коэффициенте неравномерности K_n .

Коэффициент сопротивления качению оказывает значительное влияние на расход топлива и в условиях предприятий горной отрасли возможно взять его как средневзвешенную величину при движении по маршруту как в карьере, так и на поверхности [16, 18]. Таким образом, данный фактор следует отнести к категории основных.

Условия движения.

Принимаются в зависимости от сочетаний загрузки кузова автосамосвала и уклона участка. Все возможные сочетания необходимо отнести к категории основных и отразить их влияние на расход топлива при его нормировании.

Маневрирование также можно отразить через коэффициент неравномерности движения K_n и тем самым его следует отнести к категории второстепенных факторов.

При скоростях движения до 25 км/ч данный фактор оказывает значительное влияние на расход топлива, поэтому его следует отнести к основным. При скорости свыше 25 км/ч его влияние становится малозначительным и им можно пренебречь, тем самым отнеся к категории второстепенных [15, 17].

Неравномерность движения зависит от большого количества параметров, учет каждого из которых затруднителен. Поэтому оценка влияния каждого конкретного слагаемого невозможна. Однако, допустимо производить оценку влияния неравномерности движения путем статистического анализа, что требует проведения специальных экспериментов под каждые конкретные заранее заданные условия.

Весовое состояние автосамосвала и использования пробега.
Данные факторы являются основными и обязательно должны быть учтены при нормировании.
Метеоусловия.
Данный фактор следует рассмотреть в двух его аспектах: влиянии осадков на коэффициент со-

Таблица 1. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на расход топлива

Table 1. Factors that have the biggest impact on fuel consumption

Основные факторы		
название	условное обозначение	примечание
Высота подъема груза	H, м	
Коэффициент сопротивления качению	ξ	
Условия движения		груженный/порожний вверх/вниз
Расстояние транспортирования	L, м	
Весовое состояние автосамосвала	G_a	полная снаряженная масса автосамосвала
Коэффициент использования пробега	β	отношение пробега с грузом к общему
Второстепенные факторы		
название	условное обозначение	примечание
Коэффициент неравномерности движения	K_n	Отношение максимальной и минимальной скорости к средней

противления качению и затратах мощности двигателя на систему охлаждения.

Количество и вид осадков значительно меняет коэффициент сопротивления качению, особенно на насыпных дорогах без покрытия, что влечет за собой большие изменения в расходе топлива автомобилем. Поэтому в зависимости от времени года, количества и вида осадков необходимо корректировать данный коэффициент. В виду своей большой значимости данный фактор следует отнести к категории основных.

Система охлаждения двигателя рассчитана на работу в широком диапазоне температур наружного воздуха для поддержания температуры охлаждающей жидкости двигателя в пределах 80-105°C. При эксплуатации автосамосвала в условиях, когда температура охлаждающей жидкости двигателя не находится в установленных пределах, необходимо применить дополнительные устройства для обеспечения нормальной температуры охлаждающей жидкости: в том числе чехлов, капотов и т.д. [19, 20].

Расход топлива на прогрев двигателя до нормальной температуры является незначительным и зависит от времени года. Повышение расхода топлива на дополнительные сопротивления в трансмиссии наблюдается лишь в зимний период. Поэтому данный фактор следует отнести к категории второстепенных.

Подводя итог, можно сказать что в методике нормирования расхода топлива автосамосвалов при эксплуатации в условиях предприятия горной отрасли должны быть учтены факторы, перечисленные в таблице 1. Учет второстепенных факторов осуществляется за счет введения поправочных коэффициентов.

Вывод расчетной формулы расхода топлива для условий движения с грузом вверх и порожним вниз.

На основании анализа выше обозначенных факторов, рационально рассчитать формулу для

расхода топлива автосамосвалом через работу, затрачиваемую на перемещение горной массы и самой техники в горизонтальном направлении и по вертикали с учетом движения в обе стороны маршрута. Таким образом получим:

$$A = L(q_{гр} + q_T)\xi + h(q + q_T) + l_n q_T \xi - h q_T, \quad (3)$$

где: A – полная работа, расходуемая автосамосвалом на выполнение операций, кДж; $q_{гр}$ – масса груза в кузове, т; q_T – полная снаряженная масса автосамосвала, т; ξ – коэффициент сопротивления качению; l_n – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом, км.

Поскольку наиболее распространенным контрольным прибором работы автосамосвала является одомер, а также то что отчет о расходе топлива зачастую приводится в литрах на 100 км пробега, целесообразно производить расчет величины расхода топлива в тех же единицах измерения.

Число рейсов на 100 км пути, z, выводится исходя из следующего соотношения:

$$z = \frac{100\beta}{l}, \quad (4)$$

где: β – коэффициент использования пробега.

Таким образом, получим выражение для использованной работы на 100 км пробега:

$$A_{100} = 100\beta q K_q \frac{h}{l} + 100\xi (\beta q K_q + q_{гр}), \quad (5)$$

Определим расход топлива автосамосвала на единицу транспортной работы:

$$q_p = \frac{1000q_l}{3600 \cdot \gamma \cdot \eta_{тр} \cdot K_d}, \quad (6)$$

где: q_p – расход топлива на единицу транспортной работы, л/кг·м; q_l – удельный расход двигателя, г/л.с. (берется из характеристики двигателя); γ – удельный вес топлива; $\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; K_d – коэффициент, учитывающий расход мощности двига-

теля на дополнительные системы автомобиля (компрессор, вентилятор и т.д.).

Следовательно, расход топлива на совершение полной работы за 100 км пробега в карьере будет определяться по следующей формуле:

$$Q_{100} = [100\beta q K_d \frac{h}{l} + 100\xi (\beta q K_q + q_{гр})] q_p \quad (7)$$

Выводы.

1. Существующая методика определения значения величины расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами, основанная на учете геометрии трассы и влиянии климатических, недостаточно учитывает влияние других факторов.

2. Наиболее значимыми факторами, влияющими на расход топлива, являются: высота подъема груза, коэффициент сопротивления качению, условия движения машины, расстояние транспортирования, весовое состояние самосвала, коэффициент использования пробега.

3. Целесообразно производить расчет величины расхода топлива через полную работу, совершаемую при транспортировании горной массы, на 100 км пробега автосамосвала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Кулешов А.А., Ланков П.Ю., Серебренников О.Д. Выбор рациональной модели карьерного самосвала для проектируемых карьеров ОАО «Апатит» / А.А. Кулешов, П.Ю. Ланков, О.Д. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005.
3. Александров В.И., Васильева М.А., Коптев В.Ю. Эффективная мощность и скорость движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности // Записки Горного института. 2019. Т.239. С.556-563.
4. Сычев Ю. А., Зимин Р. Ю. (2021). Повышение качества электроэнергии в системах электроснабжения минерально-сырьевого комплекса гибридными фильтрокомпенсирующими устройствами. Записки Горного института, 247(1), С. 132-140.
5. Анализ вариантов транспортирования руды от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК «АЛРОСА» / А.А. Кулешов, К.А. Васильев, В.П. Докукин, В.Ю. Коптев // Горный журнал. 2003. № 6. С. 13-17.
6. Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах / Лель Ю. И., Зырянов И. В., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Глебов И. А. // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. №4(48). С. 66-71
7. Глебов А.В. Анализ характеристик современного большегрузного автотранспорта // Известия УГГГА. Выпуск 11. Серия: Горное дело. Екатеринбург, 2000. С. 139-143.
8. Звонарев И.Е. Вероятностный подход при оценке энергоресурса трансмиссий горных машин / Фокин А.С., Иванов С.Л. // Записки Горного института. 2012. Том 195. С. 249–254.
9. Громыка Д.С., Утенкова Т.Г., Короткова О.Ю. Обзор методов оценки механизмов изнашивания исполнительных органов горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №2. С. 75–86.
10. 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 // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 2. С. 107–116.
11. Кузнецов С.Р. Параметры, определяющие энергоэффективность карьерных автосамосвалов / С.Р.Кузнецов, М.А.Васильева // Записки Горного института, 2014. Т. 209. С. 185-189
12. Васильева М.А., Волчихина А.А., Морозов М.Д. Оборудование и технологии для проведения работ по дозакладке выработанного пространства // Горный информационно – Аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2021. – № 6. – С. 133–144.
13. Абдулаев Э.К., Махараткин П.Н., Кужелев А.И. Определение наиболее значимых факторов влияющих на ресурс шин и редуктор мотор-колеса с помощью априорного ранжирования // Горный информационно-аналитический бюллетень
14. Воронов А.Ю. Мультиуровневая модель управления экскаваторно-автомобильными комплексами разрезов / Воронов Ю.Е. // Горное оборудование и электромеханика. 2019. №5 (145). С. 8–15
15. Пурэвтогтох Б., Бямбадагва Б., Энчулуун Б. Дифференциально-аналитический и графоаналитический методы определения расхода топлива карьерных автосамосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. №3. С. 557–567.
16. Koptev V.Y. Structure of energy consumption and improving open-pit dump truck efficiency / V.Y.Koptev, A.V.Kopteva// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. Vol. 87. Iss. 2. No 022010.
17. Knyazkina, V.I. Assessment of the state of a lubricator by the size of the acoustic signal in a loaded pair of friction of a mining machine transmission / V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk, S.L. Ivanov, E.V. Pumpsur // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume № 1515. – pp 1-5.
18. Shibanov, D.A. Adapting standard maintenance approaches for mining excavators to actual operating condition / D.A Shibanov, S.L. Ivanov, K.A. Safronchuk, V.I. Knyazkina. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume № 966. – pp 1-6.
19. Troyanovskaya I. Influence of Mountain Conditions on Road Fuel Consumption (Example of the Republic of Tajikistan) // Transportation Research Procedia. 2022. (61). С. 273–279.
20. Shishlyannikov D.I. Research of the mine shuttle car VS-30 drive mode / D.I. Shishlyannikov, S.A. Lavrenko // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11/23. P. 13941-13944.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Вишняков Г.Ю., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21 линия, 2), geroibeka@yandex.ru

Ботян Е.Ю., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21 линия, 2)

Розов Р.А., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21 линия, 2)

Пушкарев А.Е., д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4)

Заявленный вклад авторов:

Вишняков Г.Ю. - обзор соответствующей литературы; сбор и анализ данных; написание текста; выводы.

Ботян Е.Ю. – обзор соответствующей литературы; сбор и анализ данных; написание текста; выводы.

Розов Р.А. - обзор соответствующей литературы; сбор и анализ данных; написание текста; выводы.

Пушкарев А.Е. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-12-19

Georgiy Yu. Vishnyakov^{1,*}, Evgeny Yu. Botyan¹, Roman A. Rozov¹, Alexandr E. Pushkarev²

¹Saint-Petersburg mining university

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

*E-mail: geroibeka@yandex.ru

REFINEMENT OF THE METHODOLOGY FOR RATIONING FUEL CONSUMPTION OF OPEN PITS HAUL TRUCKS IN DIFFICULT MINING CONDITIONS

Abstract.

Regardless of the size of the transport vehicle, the share of fuel costs in the total mass of operating costs according to various data is about 30%. The main document according to which fuel consumption is normalized at enterprises in the Russian Federation, including at quarries, is the "Fuel consumption standards for cars" as amended by the order of the Ministry of Transport of Russia. However, this technique does not sufficiently take into account the specifics of the use of dump trucks and mining and geological conditions, which leads to significant discrepancies in the calculated values of diesel fuel consumption with actual operational indicators. The article analyzes the factors that influence the fuel consumption of dump trucks, and assesses the degree of these factors on fuel consumption. The factors are divided into the main ones and those that have a secondary influence and could not be taken into account or could be generalized into summary correction coefficients. As a result of the analytical study, a refined methodology for rationing diesel fuel consumption is proposed, based on the calculation of fuel consumption through full work performed by a dump truck during technological operations, per 100 km of mileage. The proposed methodology is characterized by a more comprehensive approach in comparison with the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation.



Article info

Received:

02 June 2021

Accepted for publication:

15 July 2022

Accepted:

04 August 2022

Keywords: haul truck, mining machines, fuel consumption, rationing, methodology, factor, full work.

For citation: 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(162):12-19 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-12-19

REFERENCES

1. Orders of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. AM-13-r dated 14.03.2008, No. NA-50-r dated 14.05.2014, No. NA-80-r dated 14.07.2015.
2. Kuleshov A.A., Lankov P.Yu., Serebrennikov O.D. Choosing a rational model of a dump truck for the projected quarries of JSC Apatit / A.A. Kuleshov, P.Yu. Lankov, O.D. // Mining information and analytical bulletin, 2005.
3. Alexandrov V.I., Vasilyeva M.A., Koptev V.Yu. Effective power and speed of movement of dump trucks in the fuel efficiency mode // Notes of the Mining Institute. 2019. Vol.239. pp.556-563.
4. Sychev Yu. A., Zimin R. Yu. (2021). Improving the quality of electricity in the power supply systems of the mineral resource complex with hybrid filter-compensating devices. Notes of the Mining Institute, 247(1), pp. 132-140.
5. Analysis of options for transporting ore from a quarry to a processing plant in the conditions of AK "ALROSA" / A.A. Kuleshov, K.A. Vasiliev, V.P. Dokukin, V.Y. Koptev // Mining Journal. 2003. No. 6. pp. 13-17.
6. Methodology for rationing fuel consumption by dump trucks in deep pits / Lel Yu. I., Zyryanov I. V., Ilbuldin D. H., Musikhina O. V., Glebov I. A. // Izvestiya Ural State Mining University. 2017. No.4(48). pp. 66-71
7. Glebov A.V. Analysis of the characteristics of modern heavy-duty vehicles // UGGA's izvestiya. Issue 11. Series: Mining. Esa-terinburg, 2000. pp. 139-143.
8. Zvonarev I.E. Probabilistic approach in assessing the energy resource of transmissions of mining machines / Fokin A.S., Ivanov S.L. // Notes of the Mining Institute. 2012. Volume 195. pp. 249-254.
9. Gromyka D.S., Utenkova T.G., Korotkova O.Yu. Review of methods for assessing the mechanisms of wear of executive bodies of mining machines // Mining information and analytical bulletin. 2021. No.2. pp. 75-86.
10. Lel Yu. I., Salakhiev R. G., Arefyev S. A., Sandrigailo I. N. Improvement of fuel consumption regulation by quarry self-propelled vehicles based on horizontal equivalents of vertical movement of rock mass // Izvestiya vuzov. Mining magazine. 2014. No. 2. pp. 107-116.
11. Kuznetsov S.R. Parameters determining the energy efficiency of quarry dump trucks / S.R.Kuznetsov, M.A.Vasilyeva // Notes of the Mining Institute, 2014. Vol. 209. pp. 185-189
12. Vasilyeva M.A., Volchikhina A.A., Morozov M.D. Equipment and technologies for carrying out work on re-laying of the developed space // Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2021. – No. 6. – pp. 133-144.
13. Abdulaev E.K., Makharatkin P.N., Kuzhelev A.I. Determination of the most significant factors affecting the resource of tires and the motor-wheel gearbox using a priori ranking // Mining information and analytical bulletin
14. Voronov A.Yu. Multilevel management model of excavator-automobile complexes of sections / Voronov Yu.E. // Mining equipment and electromechanics. 2019. No.5 (145). pp. 8-15
15. Purevtogtokh B., Byambadagva B., Enchuluun B. Differential analytical and graphoanalytic methods for determining the fuel consumption of quarry dump trucks // Mining information and analytical bulletin. 2020. No.3. pp. 557-567.
16. Koptev V.Yu. The structure of energy consumption and increasing the efficiency of quarry dump trucks / V.Yu.Koptev, A.V.Kopteva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. Vol. 87. Iss. 2. Number 022010.
17. Knyazkina, V.I. Evaluation of the lubricator state by the magnitude of the acoustic signal in a load-friction pair of a mining machine transmission / V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk, S.L. Ivanov, E.V. Pumpsur // Physical journal: A series of conferences. - 2020. – Volume No. 1515. – pp. 1-5.
18. Shibanov, D.A. Adaptation of standard approaches to maintenance of quarry excavators to actual operating conditions / D.A. Shibanov, S.L. Ivanov, K.A. Safronchuk, V.I. Knyazkina. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume No. 966. – pp. 1-6.
19. Troyanovskaya I. Influence of mountain conditions on fuel consumption on roads (example of the Republic of Tajikistan) // Transport research procedure. 2022. (61). Pp. 273-279.
20. Shishlyannikov D.I. Investigation of the movement mode of the VS-30 mine shuttle machine / D.I. Shishlyannikov, S.A. Lavrenko // Journal of Engineering and Applied Sciences ARPN. 2006. Vol. 11/23. pp. 13941-13944.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Georgiy Yu. Vishnyakov, PhD student, Saint Petersburg mining university (199106, Russia, St Petersburg, 21st Line,2), geroibeka@yandex.ru

Evgeny Yu. Botyan, PhD student, Saint Petersburg mining university (199106, Russia, St Petersburg, 21st Line,2),

Roman A Rozov, PhD student, Saint Petersburg mining university (199106, Russia, St Petersburg, 21st Line,2)
Alexandr E. Pushkarev - doctor of sciences, professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4 Vtoraya Krasnoarmeiskaya, 190005, Saint Petersburg, Russia).

Contribution of the authors:

Georgiy Yu. Vishnyakov - reviewing the relevant literature; data collection; data analysis; writing the text; drawing the conclusions

Evgeny Yu. Botyan - reviewing the relevant literature; data collection; data analysis; writing the text; drawing the conclusions.

Roman A. Rozov - reviewing the relevant literature; data collection; data analysis; writing the text; drawing the conclusions.

Alexandr E. Pushkarev - research problem statement; scientific management; conceptualization of research.

Author have read and approved the final manuscript.

