

## Научная статья

УДК 622.06.: 656.1/5

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-5-72-80

**МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ АВТОСАМОСВАЛАМИ НА  
ПРЕДПРИЯТИЯХ ОТКРЫТОГО СПОСОБА ДОБЫЧИ УГЛЯ**

Гартман Александр Александрович<sup>1</sup>, Андреев Юрий Геннадьевич<sup>2</sup>,  
Горбунов Александр Юрьевич<sup>1</sup>, Захаров Святослав Игоревич<sup>3</sup>

<sup>1</sup>СУЭК-Хакасия<sup>2</sup>Восточно-Бейский разрез<sup>3</sup>НИИОГР

\*для корреспонденции: gartmanaa@suek.ru

**Информация о статье**

Поступила:

31 августа 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к публикации:

11 октября 2022 г.

**Ключевые слова:**

удельный расход дизельного топлива, организационно-технологические факторы, статистическая модель, факторный анализ, автосамосвал, предприятие открытого способа добычи угля.

**Аннотация.**

Цель статьи состоит в выявлении наиболее значимых факторов, влияющих на изменение удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами, и разработке на этой основе модели, позволяющей управлять расходом дизельного топлива. В статье раскрыта методика статистического анализа организационно-технологических факторов расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами. Представлены результаты расчета коэффициента корреляции между значениями показателей, характеризующих организационно-технологические факторы, и величиной удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 на примере Восточно-Бейского разреза. Описана модель планирования удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза. Сделан вывод о возможности и рациональности применения разработанной модели для планирования расхода дизельного топлива при транспортировании горной массы. Описаны основные направления развития результатов исследования удельного расхода дизельного топлива.

**Для цитирования:** 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 (153). С. 72-80. doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-72-80

**Актуальность.** Дизельное топливо в структуре производственной себестоимости предприятий открытого способа добычи угля занимает до 30%. Многим работникам, специалистам и руководителям предприятий очевидно, что достигнутые на текущий момент значения удельного расхода топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами на предприятиях не оптимальны и могут быть улучшены.

Таблица 1. Характеристики тесноты связи в зависимости от диапазона значений коэффициента корреляции [15]

Table 1. Characteristics of the close relationship depending on the range of values of the correlation coefficient [15]

Теснота связи	Значение коэффициента корреляции при наличии:		Характеристика фактора
	прямой связи	обратной связи	
Слабая	0,1-0,3	(-0,3)-(-0,1)	Незначимый
Умеренная	0,3-0,5	(-0,5)-(-0,3)	Малозначимый
Заметная	0,5-0,7	(-0,7)-(-0,5)	Значимый
Высокая	0,7-0,9	(-0,9)-(-0,7)	Релевантный
Весьма высокая (закономерная)	0,9-1,0	(-1,0)-(-0,9)	

Таблица 2. Результаты расчета коэффициента корреляции между значениями организационно-технологических факторов и удельным расходом дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306

Table 2. Results of calculating the correlation coefficient between the values of organizational and technological factors and the specific consumption of diesel fuel in the process of transporting rock mass by BelAZ-75306 dump trucks

Факторы	Значения коэффициента корреляции								
	ГрО	Пробег	L <sub>лин</sub>	ΔL	L <sub>прив</sub>	Груз	ПМЧ	T <sub>учет</sub>	Масса
Уд.ДТ	-0,74	-0,74	-0,63	0,63	-0,40	-0,31	-0,30	-0,29	-0,29

**Обозначения:**

Уд.ДТ – удельный расход ДТ за смену, г/ткм

**Цветовые обозначения влияния факторов:**

	- релевантный
	- значимый
	- малозначимый
	- незначимый

В связи с этим разработана и апробирована методика статистического анализа факторов удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования, способствующая выявлению и оценке резервов повышения эффективности использования этого ресурса, является актуальной научно-практической задачей.

**Методическая основа исследования.** Цель исследования – выявить и обосновать наиболее значимые факторы расхода дизельного топлива.

Объект исследования: процесс транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 на Восточно-Бейском разрезе.

Методы исследования: ретроспективный анализ, корреляционный анализ.

Источники исходных данных: ежесменный производственный отчет по работе автосамосвалов, отчет по расходу дизельного топлива.

Выборка: 595 маш.-смен.

Основным инструментом проводимого факторного анализа является расчет коэффициента парной корреляции, который направлен на установление тесноты связи между удельным расходом дизельного топлива в смене и организационно-технологическими факторами его расхода.

Анализ и обобщение опыта исследований в области нормирования и повышения эффективности использования дизельного топлива, представленный в работах А.С. Довженка, И.В. Зырянова, Ю.И. Леля, позволил выявить следующие организационно-технологические факторы [1-14]:

- грузооборот автосамосвала за смену (ГрО), ткм;
- пробег автосамосвала за смену (Пробег), км;
- среднее линейное расстояние транспортирования горной массы в смену (L<sub>лин</sub>), км;

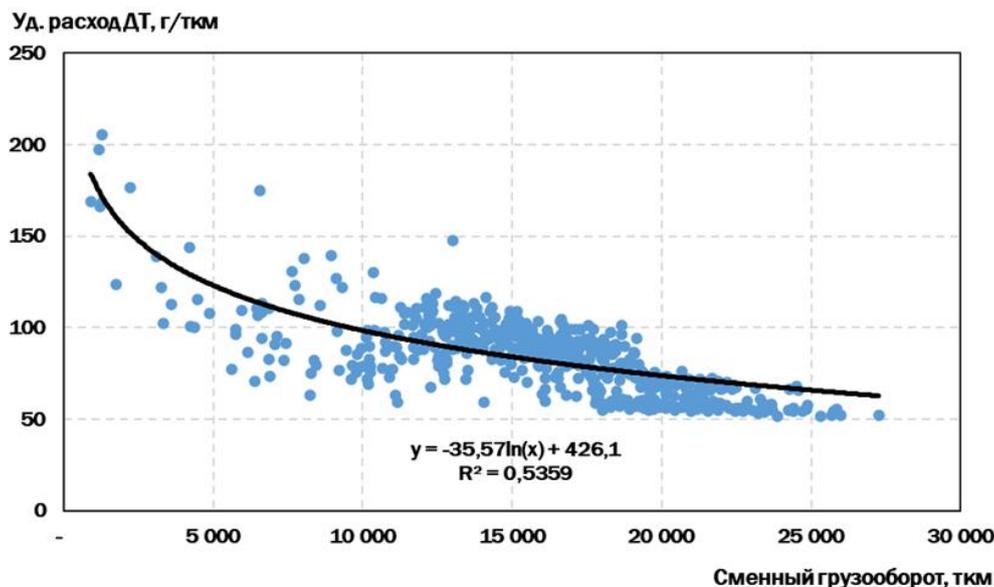


Рис. 1. Зависимости удельного расхода дизельного топлива от сменного грузооборота (по данным ООО «Восточно-Бейский разрез»)

Fig. 1. Dependences of the specific consumption of diesel fuel on the shift turnover (according to LLC «Vostochno-Beisky cut»)

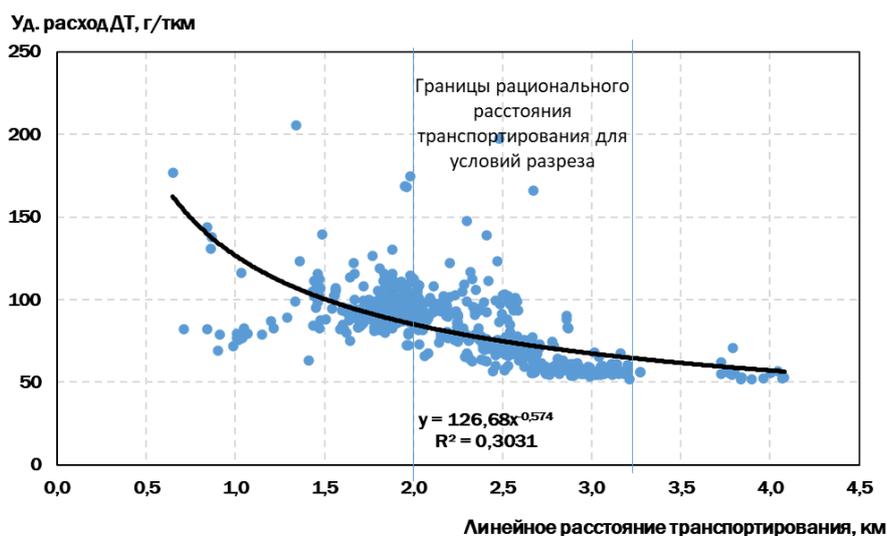


Рис. 2. Зависимость удельного расхода дизельного топлива от линейного расстояния транспортирования (по данным ООО «Восточно-Бейский разрез»)

Fig. 2. Dependence of the specific consumption of diesel fuel on the linear distance of transportation (according to LLC «Vostochno-Beisky cut»)

- среднее приведенное расстояние транспортирования горной массы в смену с учетом высоты транспортирования ( $L_{прив}$ ), км;
- геометрическая сложность трассы как отношение приведенного расстояния транспортирования к линейному ( $\Delta L$ ), %;
- среднесменный вес груза в кузове автосамосвала ( $G_{груз}$ ), т;
- время производительной работы за смену (ПМЧ), рассчитанное с учетом времени рационального выполнения операций транспортного цикла по критериям безопасности и эффективности работы, ч;
- время работы автосамосвала на линии за смену ( $T_{учет}$ ), ч;
- масса перевезенного груза автосамосвалом за смену ( $M_{масса}$ ), т.

Значения коэффициента парной корреляции характеризуют тесноту связи между исследуемыми факторами и описываются диапазонами в таблице 1.

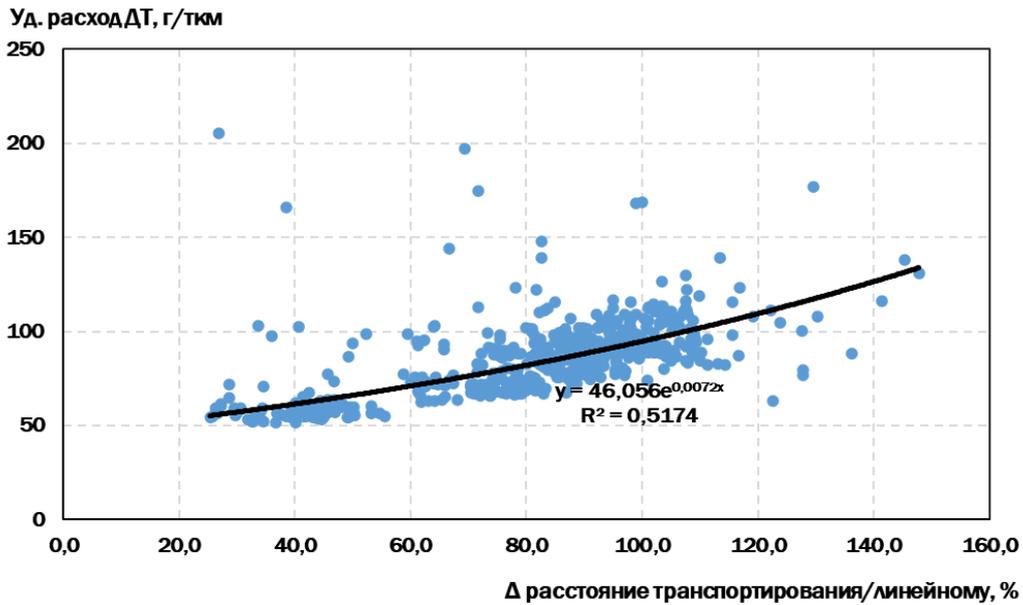


Рис. 3. Зависимость удельного расхода дизельного топлива от геометрической сложности трассы (по данным ООО «Восточно-Бейский разрез»)   
 Fig. 3. The dependence of the specific consumption of diesel fuel on the geometric complexity of the route (according to LLC «Vostochno-Beisky cut»)

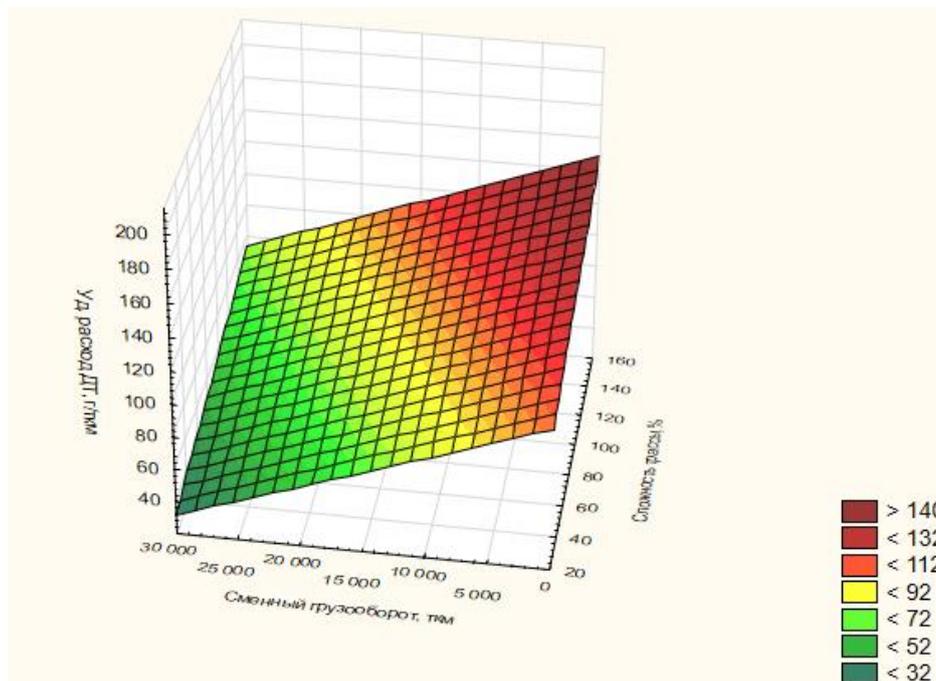


Рис. 4. Модель планирования удельного расхода дизельного топлива для условий ООО «Восточно-Бейский разрез»   
 Fig. 4. Model for planning the specific consumption of diesel fuel for conditions of Vostochno-Beisky Razrez LLC

Таким образом, при значении коэффициента парной корреляции выше 0,7 (по модулю) можно отметить, что исследуемый организационно-технологический фактор является релевантным для удельного расхода дизельного топлива.

**Результаты исследования.** В результате проведенного корреляционного анализа установлено влияние каждого выделенного организационно-технологического фактора на

удельный расход дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза.

В представленном примере наиболее значимыми факторами удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза являются сменные грузооборот и пробег автосамосвала, которые связаны между собой корреляционной связью, близкой к единице (закономерная связь).

Характер влияния сменного грузооборота на удельный расход дизельного топлива идентичен влиянию пробега и имеет вид обратной логарифмической функции (рис. 1).

Выявленный идентичный характер зависимостей грузооборота и пробега на удельный расход дизельного топлива в смене может свидетельствовать о достаточно устойчивом уровне использования грузоподъемности автосамосвала, что подтверждается результатами оценки величины отклонения среднесменной массы груза в кузове автосамосвала от средней фактической за период, которая за рассмотренный период составила 4%, при среднем фактическом значении массы груза в кузове – 221 тонна.

Также в результате проведенного корреляционного анализа выявлены такие значимые факторы удельного расхода дизельного топлива как: линейное расстояние транспортирования и геометрическая сложность трассы.

Важно отметить, что в соответствии с полученными результатами расчета снижение линейного расстояния приводит к повышению удельного расхода дизельного топлива и без снижения соответствующего количества автосамосвалов на линии является неэффективным. С другой стороны, увеличение линейного расстояния относительно рациональных значений в условиях Восточно-Бейского разреза (2,0-3,3 км) также не может являться эффективным способом управления дизельным топливом.

В этой связи, по мнению авторов, линейное расстояние транспортирования является статистически значимым фактором удельного расхода дизельного топлива, но не казуальным, то есть не описывающим причинную взаимообусловленность событий.

Увеличение показателя геометрической сложности трассы отражает повышение энергозатрат, необходимых на выполнение автосамосвалом грузовой работы – это рост количества поворотов, высоты подъема и т.д.

Для минимизации негативного влияния этого фактора в ООО «СУЭК-Хакасия» с 2017 г. среди предприятий открытого способа добычи угля проводится ежеквартальный (с 2020 г. – ежемесячный) конкурс качества автомобильных дорог. Результатом конкурса на сегодняшний день явилось улучшение параметров автомобильных дорог на всех предприятиях объединения, приведение их к нормативным значениям (продольные и поперечные уклоны, ширина, покрытие), что предопределило значительное снижение показателя геометрической сложности трассы.

**Модель планирования удельного расхода дизельного топлива.** В результате проведенного исследования с использованием программного комплекса Statistica предложена двухфакторная модель планирования удельного расхода дизельного топлива для автосамосвалов БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза (рис. 4).

То есть для планирования удельного расхода ДТ на смену следует использовать формулу:

$$Уд. ДТ = 100, 509 + 0,3024 * \Delta L - 0,0025 * ГрО, \quad (1)$$

где ГрО – планируемый объем грузооборота автосамосвала за смену, ткм;

$\Delta L$  – геометрическая сложность трассы, измеряется по формуле:

$$\Delta L = ((L_{прив} - L_{лин}) / L_{лин}) * 100, \quad (2)$$

где  $L_{лин}$  – линейное расстояние транспортирования, км;

$L_{прив}$  – приведенное расстояние транспортирования, км.

Проверка полученной модели с использованием ретроспективного анализа. По результатам марта-апреля 2020 г. получены следующие фактические средние значения:  $\Delta L$  – 78,7%; ГрО – 16 125 ткм.

Подстановка фактических значений в полученную статистическую модель представлена ниже:

$$100, 509 + 0,3024 * 78,7 - 0,0025 * 16 125 = 83,7 \text{ г/ткм}$$

Фактически среднее значение удельного расхода дизельного топлива по автосамосвалам БелАЗ-75306 за анализируемый период составило 83,6 г/ткм. Разница между данными модели и

фактическим значением составила:

$$83,7-83,6 = 0,1 \text{ г/ткм}$$

Следовательно, точность предложенной модели:

$$100\% - (0,1/83,6 * 100\%) = 99,88\%.$$

Таким образом, проверка модели показала ее высокую точность. Следовательно, разработанная модель может быть использована для планирования расхода дизельного топлива при транспортировании горной массы автосамосвалами марки БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза.

**Дискуссия.** Очевидно, что высокая точность разработанной модели обусловлена в том числе большой выборкой, при уменьшении периода рассмотрения (смена – час – рейс) в силу действия большого количества случайных и неучтенных факторов закономерно увеличение фактических отклонений от полученных в модели.

Дальнейшее развитие полученных результатов заключается в доработке модели с использованием технологии Big data и разработке, а также встраивании аналогичных моделей в цифровую инфраструктуру предприятия – создание «цифрового двойника» каждого автосамосвала.

Важным этапом управления расходом дизельного топлива является внедрение роботизированной автотранспортной техники. По результатам завершающих испытаний этой технологии транспортирования в условиях пилотного участка, созданного на базе ООО «СУЭК-Хакасия», был зафиксирована сменная производительность автосамосвала, превышающая на 20% существующую на предприятии норму выработки. При этом удельный расход дизельного топлива снизился на 13-15%.

**Заключение.** Проведенный статистический анализ выявил, что наиболее значимыми факторами удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами БелАЗ-75306 в условиях Восточно-Бейского разреза являются сменные грузооборот и геометрическая сложность трассы. Оперативное управление этими факторами позволило значительно снизить удельный расход топлива.

Использование полученных результатов статистического анализа также способствовало разработке модели планирования удельного расхода дизельного топлива для условий ООО «Восточно-Бейский разрез», точность которой превышает 99%.

Дальнейшее развитие полученных результатов исследования заключается в доработке модели и создании «цифрового двойника» каждого автосамосвала с использованием технологии Big data, а также во внедрении на предприятиях открытого способа добычи угля роботизированной автотранспортной техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гермагенов С. С. Расход дизельного топлива при работе грузовых автомобилей на холостом ходу двигателя в условиях Крайнего Севера // Проблемы науки. 2019. № 6(42). С. 28-31.
2. Горяев Н. К., Вавилова Е. Н. Совершенствование нормирования расхода топлива на транспортную работу // Краткие сообщения. 2014. № 2. С. 195-197.
3. Довженок А. С. Развитие теории и методов управления автотранспортной системой горнодобывающего предприятия: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Довженок Александр Сергеевич. Санкт-Петербург. 2002. 229 с.
4. Емельянов С. В. Расход топлива: все под контролем // Территория нефтегаз. 2016. № 2. С. 66-68.
5. Кривуца З. Ф. Влияние температуры окружающей среды на расход топлива грузовых автомобилей при различных скоростных режимах // Научное обозрение. 2013. № 11. С. 20-23.
6. Лебедев П. А. Режимы работы двигателей и расход топлива // Сельский механизатор. 2011. № 12. С. 30-31.
7. Лель Ю. И., Зырянов И. В., Ильбульдин Д. Х. Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. № 4 (48). С. 66-71.
8. Лиханов В. А. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5(41). С. 62-64.
9. Лобх В. П., Рублевский Л. В. Нормирование расхода топлива на автомобильном транспорте // Вестник Белорусско-Российского университета. 2009. № 4. С. 15-21.

10. Болдин А. П., Максимов В. А., Постолиит А. В. [и др.] Методика оперативного определения норм расхода топлива городскими автобусами с учетом сложности маршрута движения // Автомобильная промышленность. 2018. № 6. С. 22-26.
11. Сахапов Р. Л., Махмутов М. М., Земдиханов М. М., Исмагилов А. Г. Определение расхода топлива строительной машины и ее экологическая оценка // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. № 5-4(25-4). С. 136-140.
12. Лебедев А. Т., Захарин А. В., Лебедев П. А. [и др.] Расход топлива при выполнении технологических операций // Наука в центральной России. 2017. № 5(29). С. 83-91.
13. Лель Ю. И., Салахияев Р. Г., Арефьев С. А., Сандригайло И. Н. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2014. № 2. С. 107-115.
14. Тимофеев А. П. Составление алгоритма уточнения норм расхода топлива // Сборник материалов X Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», Кемерово, 24-27 апреля 2018 года. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. С. 32208.1-32208.5.
15. Орлов А. И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // Научный журнал КубГАУ. 2020. № 160 (06). С. 1-33.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Об авторах:*

**Гартман Александр Александрович**, заместитель Генерального директора, ООО «СУЭК-Хакасия», (655162, Россия, г. Черногорск, ул. Советская, 42), gartmanaa@suek.ru

**Андреев Юрий Геннадьевич**, исполнительный директор, ООО «Восточно-Бейский разрез», (655796, Россия, Республика Хакасия, Бейский р-н, с. Кирба, ул. Майская, 6), andreevyg@suek.ru

**Горбунов Александр Юрьевич**, начальник производственного отдела, ООО «СУЭК-Хакасия», (655162, Россия, г. Черногорск, ул. Советская, 42), gorbunovaiu@suek.ru

**Захаров Святослав Игоревич**, кандидат экономических наук, заведующий лабораторией организации и оплаты труда, ООО «НИИОГР», (454092, Россия, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30), svzakharov@bk.ru

*Заявленный вклад авторов:*

Гартман Александр Александрович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Андреев Юрий Геннадьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Горбунов Александр Юрьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Захаров Святослав Игоревич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

**METHOD OF STATISTICAL ANALYSIS OF DIESEL FUEL SPECIFIC CONSUMPTION IN THE PROCESS OF TRANSPORTATION OF ROCK MASS BY TRUCK AT OPEN COAL MINING ENTERPRISES****Alexander A. Gartman<sup>1</sup>, Yury G. Andreev<sup>2</sup>,  
Alexander Y. Gorbunov<sup>1</sup>, Svyatoslav I. Zakharov<sup>3</sup>**<sup>1</sup>SUEK-Khakassia<sup>2</sup>Vostochno-Beisky Razrez<sup>3</sup>NII OGR

\*for correspondence: gartmanaa@suek.ru

**Article info**

Submitted:

31 August 2022

Approved after reviewing:

01 October 2022

Accepted for publication:

11 October 2022

**Keywords:** specific consumption of diesel fuel, organizational and technological factors, statistical model, factorial analysis, dump truck, open pit coal mining enterprise.**Abstract.**

The purpose of the article is to identify the most significant factors of the specific consumption of diesel fuel in the process of transporting rock mass by dump trucks and to develop on this basis a model that allows planning the consumption of diesel fuel. The article discloses a method of statistical analysis of organizational and technological factors of diesel fuel consumption in the process of rock mass transportation by dump trucks. The results of calculating the correlation coefficient between the values of indicators characterizing organizational and technological factors and the specific consumption of diesel fuel in the process of transporting rock mass by BelAZ-75306 dump trucks are presented using the example of the Vostochno-Beisky section. A model for planning the specific consumption of diesel fuel in the process of transporting rock mass by BelAZ-75306 dump trucks under the conditions of the Vostochno-Beisky section is described. The conclusion is made about the possibility and rationality of using the developed model for planning the consumption of diesel fuel during the transportation of rock mass. The main directions of development of the results of the study of the specific consumption of diesel fuel are described.

**For citation:** 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. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 5(153):72-80. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-5-72-80

## REFERENCES

1. Germagenov S.S. Raskhod dizel'nogo topliva pri rabote gruzovykh avtomobiley na kholostom khodu dvigatelya v usloviyakh Kraynego Severa [Diesel fuel consumption during the operation of trucks at idling of the engine in the conditions of the Far North]. *Problems of Science*. 2019; 6(42):28-31. (rus)
2. Goryayev N.K., Vavilova Ye.N. Sovershenstvovaniye normirovaniya raskhoda topliva na transportnyuyu rabotu [Improving the regulation of fuel consumption for transport work]. *Brief communications*. 2014; 2:195-197. (rus)
3. Dovzhenok A.S. Razvitiye teorii i metodov upravleniya avtotransportnoy sistemoy gornodobyvayushchego predpriyatiya [Development of the theory and methods of controlling the autotransport system of a mining enterprise]. St. Petersburg; 2002. (rus)
4. Yemel'yanov S.V. Raskhod topliva: vse pod kontrolem [Fuel consumption: everything is under control]. *Territoriya neftegaz*. 2016; 2:66-68. (rus)
5. Krivutsa Z.F. Vliyaniye temperatury okruzhayushchey sredy na raskhod topliva gruzovykh avtomobiley pri razlichnykh skorostnykh rezhimakh [Influence of ambient temperature on the fuel consumption of trucks under various speed conditions]. *Scientific Review*. 2013; 11:20-23. (rus)
6. Lebedev P.A. Rezhimy raboty dvigateley i raskhod topliva [Engine operation modes and fuel consumption]. *Rural mechanic*. 2011; 12:30-31. (rus)
7. Lel' Yu.I., Zyryanov I.V., Il'bul'din D.Kh. Metodika normirovaniya raskhoda topliva avtosamosvalami v glubokikh kar'yerakh [Technique of standardization of fuel consumption by dump trucks in deep quarries]. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2017; 4(48):66-71. (rus)
8. Likhanov V.A. Opredeleniye optimal'nykh uglov operezhneniya vpryskivaniya topliv pri rabote dizelya na etanole

[Determining the optimal fuel injection advance angles when a diesel engine runs on ethanol]. *Transport on alternative fuel*. 2014; 5(41):62-64. (rus)

9. Lobakh V.P., Rublevskiy L.V. Normirovaniye raskhoda topliva na avtomobil'nom transporte [Rationing of fuel consumption in road transport]. *Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2009; 4:15-21. (rus)

10. Metodika operativnogo opredeleniya norm raskhoda topliva gorodskimi avtobusami s uchëtom slozhnosti marshruta dvizheniya [A method for quickly determining fuel consumption rates for city buses, taking into account the complexity of the route]. *Automotive Industry*. 2018; 6:22-26. (rus)

11. Opredeleniye raskhoda topliva stroitel'noy mashiny i yeye ekologicheskaya otsenka [Determination of fuel consumption of a construction machine and its environmental assessment]. Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice, 2016; 5-4(25-4):136-140. (rus)

12. Raskhod topliva pri vypolnenii tekhnologicheskikh operatsiy [Fuel consumption during technological operations]. *Science in Central Russia*, 2017; 5(29):83-91. (rus)

13. Sovershenstvovaniye normirovaniya raskhoda topliva kar'yernymi avtosamosvalami na osnove gorizonta'nykh ekvivalentov vertikal'nogo peremeshcheniya gornoy massy [Improving the regulation of fuel consumption by mining dump trucks based on horizontal equivalents of the vertical movement of the rock mass]. *Izvestiya Vysshikh educational institutions. Mining magazine*. 2014; 2:107-115. (rus)

14. Timofeyev A.P. Sostavleniye algoritma utocneniya norm raskhoda topliva [Drawing up an algorithm for clarifying fuel consumption rates]. Collection of materials of the x All-Russian, scientific and practical conference of young scientists with international participation «Young Russia», Kemerovo, April 24-27, 2018. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2018. Pp. 32208.1-32208.5. (rus)

15. Orlov A.I. Veroyatnostno-statisticheskiye modeli korrelyatsii i regressii [Probabilistic-statistical models of correlation and regression]. *Scientific journal of KubGAU*. 2020; 160(06):1-33. (rus)

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

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

**Alexander A. Gartman**<sup>1</sup>, Deputy General Director, LLC SUEK-Khakassia, (42 street Soviet, Chernogorsk, 655162, Russian Federation), gartmanaa@suek.ru

**Yury G. Andreev**<sup>2</sup>, Executive Director of Vostochno-Beisky Razrez LLC, (6 street Maiskaya, Republic of Khakassia, 655796, Russian Federation), andreevyg@suek.ru

**Alexander Y. Gorbunov**<sup>1</sup>, head of the production department of LLC SUEK-Khakassia, (42 street Soviet, Chernogorsk, 655162, Russian Federation), gorbunovaiu@suek.ru

**Svyatoslav I. Zakharov**<sup>3</sup>, C. Sc. in Economics, Head of the Laboratory of Organization and Remuneration of Labor, LLC «NIIOGR» (30 street Enthusiasts, Chelyabinsk, 454092, Russian Federation), svzakharov@bk.ru

*Contribution of the authors:*

Alexander A. Gartman - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Yury G. Andreev - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Alexander Y. Gorbunov - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Svyatoslav I. Zakharov - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

