

Научная статья

УДК 631.3:621.182(571.56)

EDN VGXSVY

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-126-133>

**Математическая модель расчета расхода топлива при доставке  
грубых кормов в арктические районы Республики Саха (Якутия)**

**Полина Александровна Татарникова<sup>1</sup>, Варвара Петровна Друзьянова<sup>2</sup>,  
Николай Вадимович Петров<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова  
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

<sup>1</sup> [polina\\_yakutsk@mail.ru](mailto:polina_yakutsk@mail.ru), <sup>2</sup> [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru), <sup>3</sup> [petnikvad1988@mail.ru](mailto:petnikvad1988@mail.ru)

**Аннотация.** Разведение крупного рогатого скота в арктических районах Якутии является залогом продовольственной безопасности местного населения. Однако недостаточное обеспечение грубыми кормами выступает сдерживающим фактором для эффективного функционирования скотоводческих хозяйств и приводит к необходимости дополнительного завоза сена. С учетом территориальной удаленности районов республики и неудовлетворительного состояния транспортной инфраструктуры остро стоит вопрос планирования эксплуатационных затрат. Авторами рассмотрены особенности расчета расхода топлива грузовым автотранспортом при организации доставки сена в рулонах в арктические районы Якутии с учетом имеющихся дорожных условий и необходимости перевозки по автозимникам. Проведен анализ дорожной инфраструктуры по рассматриваемому маршруту, обоснован выбор методики расчета расхода топлива, наиболее приемлемой при организации перевозок в республике. Произведены соответствующие теоретические расчеты и предложена математическая модель с введением корректировочных коэффициентов, позволяющая адаптировать известный математический аппарат для условий региона.

**Ключевые слова:** грубые корма, скотоводческие хозяйства, доставка, арктические районы, расход топлива, дорожные условия, математическая модель

**Для цитирования:** Татарникова П. А., Друзьянова В. П., Петров Н. В. Математическая модель расчета расхода топлива при доставке грубых кормов в арктические районы Республики Саха (Якутия) // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 2. С. 126–133. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-126-133>.

Original article

**Mathematical model for calculation fuel consumption during the delivery  
of roughage to the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia)**

**Polina A. Tatarnikova<sup>1</sup>, Varvara P. Druzyanova<sup>2</sup>, Nikolay V. Petrov<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov  
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

<sup>1</sup> [polina\\_yakutsk@mail.ru](mailto:polina_yakutsk@mail.ru), <sup>2</sup> [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru), <sup>3</sup> [petnikvad1988@mail.ru](mailto:petnikvad1988@mail.ru)

**Abstract.** Raising cattle in the Arctic regions of Yakutia is a key factor for ensuring food security for the local population. At the same time, insufficient provision of roughage is a limiting factor for the effective operation of livestock farms and leads to the need for additional hay imports. Considering the territorial remoteness of the districts of the republic and the poor condition of the transportation infrastructure, the issue of planning operational costs is urgent. The authors examined the features of calculating fuel consumption by trucks when organizing the delivery of rolled hay to the Arctic regions of Yakutia, taking into account the existing road conditions and the necessity of transportation via winter roads. The analysis of the road infrastructure along the

considered route was conducted, the justification was provided for selecting a fuel consumption calculation methodology, that was most acceptable for organization transportation in the republic. Theoretical calculations were performed; the mathematical model was proposed with the introduction of correction coefficients, allowing adaptation of the known mathematical framework to regional conditions.

**Keywords:** roughage, cattle breeding farms, delivery, Arctic regions, fuel consumption, road conditions, mathematical model

**For citation:** Tatarnikova P. A., Druzyanova V. P., Petrov N. V. Mathematical model for calculation fuel consumption during the delivery of roughage to the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia). *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;2:126–133. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-126-133>.

**Введение.** Территориальная удаленность арктических районов Якутии, отсутствие круглогодичной транспортной инфраструктуры ставят в приоритет повышение уровня продовольственной безопасности и самообеспеченности [1]. Среди арктических районов Якутии наибольший вклад в сельскохозяйственную отрасль вносит Верхоянский район, производя 29,3 % валовой продукции сельского хозяйства.

При этом одной из главных проблем является обеспечение кормами сельскохозяйственных животных [2]. Условия заготовки сена в арктических районах на порядок сложнее, чем в центральных районах Якутии. В Верхоянском районе в качестве сенокосных угодий и пастбищ на сегодня используется всего около 40 % сельскохозяйственных угодий [3], что обуславливает необходимость дополнительного завоза грубых кормов.

Состояние транспортной инфраструктуры Верхоянского района характеризуется неразвитостью, изолированностью от федеральных и республиканских транспортных сетей, слабой внутренней доступностью с сильной зависимостью от сезонного фактора. Доставка грузов наземным транспортом возможна лишь в период действия сезонных автомобильных дорог – автозимников [4].

Также сложности эксплуатации автотранспортных средств в условиях Севера обусловлены пролеганием маршрутов перевозки по пересеченной местности: через холмистые участки, косогоры и т. д. Необходимо учесть, что на таких участках транспортное средство работает в интенсивном режиме, а также требуется высокий уровень квалификации водителя для поддержания оптимальной скорости автомобиля и безопасного режима движения.

Экстремальный климат и неудовлетворительные дорожные условия Якутии существенно увеличивают базовые нормы расхода топлива автотранспортных средств, в связи с чем требуется разработка математической модели, позволяющей адаптировать существующий математический аппарат для условий региона.

**Целью исследований** явилась разработка и апробация математической модели расчета расхода топлива при доставке грубых кормов в арктические районы Республики Саха (Якутия).

Технология доставки сена рассмотрена на примере маршрута с. Борогонцы (Усть-Алданский район) – п. Батагай (Верхоянский район), общей протяженностью 1 274,8 км (табл. 1).

**Материалы и методы исследований.** Действующие методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», утвержденные распоряжением Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р не в полной мере отражают фактический расход. Это, в свою очередь, может привести к формированию некорректных планов в расчете эксплуатационных расходов при организации перевозок.

Для получения максимально точных результатов расчета применяются вычислительные методы, учитывающие параметры, влияющие на расход топлива автотранспортными средствами: скорость подвижного состава, вес груза, мощность двигателя и др. [5–8].

Определение расчетного расхода дизельного топлива грузового автомобиля при выполнении перевозок в условиях Якутии считаем целесообразным выполнять по методике Н. Я. Говорущенко, описанной в работе [9], в которой учитывает-

**Таблица 1 – Характеристика маршрута с. Борогонцы (Усть-Алданский район) – п. Батагай (Верхоянский район)****Table 1 – Route characteristics from Borogontsy village (Ust-Aldan district) to Batagay settlement (Verkhoyansky district)**

Участок маршрута	Характеристика	Протяженность участка, км
Борогонцы – Тюнгиюлю	дорога с твердым покрытием	91,2
Тюнгиюлю – 533 км ФАД Колыма	федеральная автомобильная дорога	431,0
533 км ФАД Колыма – Тополиное	дорога с твердым покрытием	190,0
Тополиное – Токума	автозимник	478,5
Токума – Батагай	дорога с твердым покрытием	83,6
Итого		1 274,8

ся коэффициент суммарного дорожного сопротивления движению автомобиля, зависящий от дорожных условий. Согласно данной методике, удельный расход топлива определяется выражением (1):

$$q = \frac{1}{\eta_i} \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2)] \quad (1)$$

где  $\eta_i$  – индикаторный коэффициент полезного действия;

$A, B, C$  – постоянные коэффициенты для данной марки автомобиля;

$i_k$  – средневзвешенное передаточное число коробки перемены передач;

$V_a$  – скорость движения автомобиля, км/час;

$G_a$  – вес автомобиля, Н;

$\psi$  – коэффициент суммарного дорожного сопротивления движению автомобиля;

$kF$  – фактор обтекаемости, Нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

В расчетах задан подвижной состав, широко применяемый для эксплуатации в условиях Республики Саха (Якутия) – бортовой грузовой автомобиль КамАЗ 43118, работающий на дизельном топливе, с прицепом НЕФАЗ [10].

При перевозке, учитывая габаритные размеры кузова автомобиля (с условием снятия бортов), рулоны сена размером 1,45×1,2 м укладывают в два яруса: нижний ярус в два ряда по 5 рулонов, верхний ярус в два ряда по 4 рулона.

При планировании маршрутов перевозки автомобильным транспортом на дальние расстояния одним из ключевых аспектов является анализ расположения автозаправочных станций. По рассматриваемому маршруту наблюдается отсут-

ствие АЗС с дизельным топливом между п. Батагай и с. Теплый ключ (562,6 км), что создает необходимость максимально точного расчета расхода топлива и подбора подвижного состава с оптимальным объемом топливного бака.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Произведены расчеты расхода топлива при движении автомобиля на разных нагрузках (при этом частичная загрузка соответствует использованию грузоподъемности при перевозке партии рулонов сена). Результаты расчетов сведены в таблицы 2 и 3 (для движения по асфальту и по автозимнику соответственно).

Графическое отображение полученных результатов представлено на рисунках 1, 2.

Необходимо отметить, что коэффициент суммарного дорожного сопротивления движению автомобиля, принимаемый для конкретных дорожных условий по справочным данным, является величиной весьма приблизительной. При этом существует большая вероятность несоответствия расчетных данных с фактическими показателями, что может привести к возникновению дефицита топлива при планировании рейса, либо к формированию его излишнего запаса.

Учитывая территориальную удаленность арктических районов от центральной Якутии, важно принять во внимание требования к соблюдению режима труда и отдыха водителя, установленные приказом Минтранса от 16.10.2020 № 424 «Об утверждении Особенности режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда водителей автомобилей».

**Таблица 2 – Определение расхода топлива для порожнего, частично груженого и груженого автомобиля по асфальту**

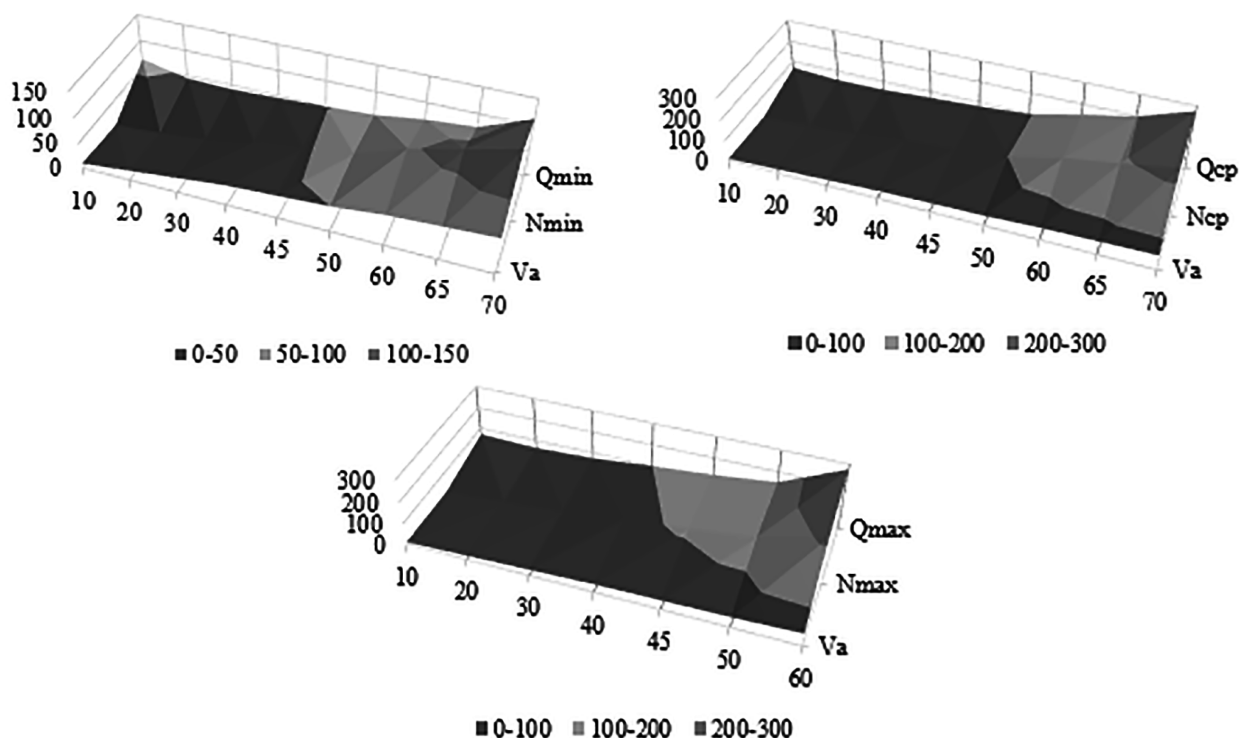
**Table 2 – Determination of fuel consumption for an empty vehicle, a partially loaded vehicle, and a fully loaded vehicle on asphalt**

Показатели	Скорость автомобиля, км/час							
	10	20	30	35	45	50	60	65
<i>Для порожнего автомобиля</i>								
Использование мощности двигателя, %	4,10	10,29	20,62	27,99	48,45	62,06	97,31	119,49
Индикаторный КПД	0,44	0,45	0,47	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Расход топлива, л	63,59	44,00	41,94	42,11	50,18	55,60	68,86	76,64
<i>Для частично груженого автомобиля</i>								
Использование мощности двигателя, %	7,14	17,64	34,89	47,09	80,75	103,05	160,71	196,91
Индикаторный КПД	0,50	0,50	0,50	0,51	0,46	0,43	0,34	0,28
Расход топлива, л	67,41	53,85	57,93	61,86	84,66	102,29	161,35	214,86
<i>Для груженого автомобиля</i>								
Использование мощности двигателя, %	10,23	24,87	48,32	64,72	109,64	139,26	215,56	263,35
Индикаторный КПД	0,56	0,54	0,51	0,48	0,42	0,37	0,26	0,18
Расход топлива, л	70,28	62,69	74,74	86,33	125,18	157,52	287,30	446,24
Номер передачи	4	6	7	7	8	8	8	8

**Таблица 3 – Определение расхода топлива для порожнего, частично груженого и груженого автомобиля по автозимнику**

**Table 3 – Determination of fuel consumption for an empty vehicle, a partially loaded vehicle, and a fully loaded vehicle on winter roads**

Показатели	Скорость автомобиля, км/час						
	10	20	30	35	40	45	50
Для порожнего автомобиля							
Использование мощности двигателя	7,89	19,28	37,66	50,56	66,53	85,99	109,38
Индикаторный КПД	0,45	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,66
Расход топлива, л	85,00	67,63	68,81	71,51	74,69	77,92	80,90
Для частично груженого автомобиля							
Использование мощности двигателя	14,15	34,31	66,46	88,90	116,60	150,30	190,74
Индикаторный КПД	0,46	0,50	0,47	0,45	0,41	0,35	0,29
Расход топлива, л	81,13	84,49	112,54	132,86	166,69	216,90	297,57
Для груженого автомобиля							
Использование мощности двигателя	20,39	49,12	94,52	126,07	164,93	212,12	268,69
Индикаторный КПД	0,47	0,50	0,44	0,39	0,33	0,26	0,18
Расход топлива, л	114,46	118,24	167,65	213,08	284,95	412,07	692,85
Номер передачи	3	5	6	7	7	7	7



$Q$  – расход топлива;  $N$  – использование мощности двигателя;  $V$  – скорость движения  
 $Q$  – fuel consumption;  $N$  – engine power usage;  $V$  – driving speed  
 а) порожний автомобиль; б) частично груженный автомобиль; в) груженный автомобиль  
 а) empty vehicle; б) partially loaded vehicle; в) fully loaded vehicle

**Рисунок 1 – Модель зависимости расхода топлива автомобиля при его движении по асфальту**  
**Figure 1 – A model of the dependence of a vehicle's fuel consumption when driving on asphalt**

В этой связи для расчета расхода топлива, максимально приближенного к реальным значениям, необходимо провести ряд экспериментальных исследований в целях обоснования и ввода корректирующих коэффициентов для условий Якутии.

В нашем случае модель расчета расхода топлива для подбора подвижного состава при организации перевозки грубых кормов в арктические районы Якутии примет вид выражений (2) и (3):

$$Q_{\text{марш}} = f(N_i; V_a; kF; \psi; L_j; t_{\text{сто}}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} kF \rightarrow \min, \\ L_j \rightarrow \min, \\ t_{\text{сто}} \rightarrow \min, \\ N_i \rightarrow \text{opt}, \\ V_a \rightarrow \text{opt}, \\ \psi \rightarrow \text{факт} \end{array} \right\} \quad (3)$$

где  $N_i$  – использование мощности двигателя, %;

$L_j$  – протяженность  $i$ -го участка пути, км;

$t_{\text{сто}}$  – время стоянки для проведения необходимых профилактических работ, час.

При этом оптимальные значения  $N_i$  и  $V_a$  зависят от конкретных условий перевозки и подвижного состава, а фактическое значение  $\psi$  – от типа дорожного покрытия и его состояния.

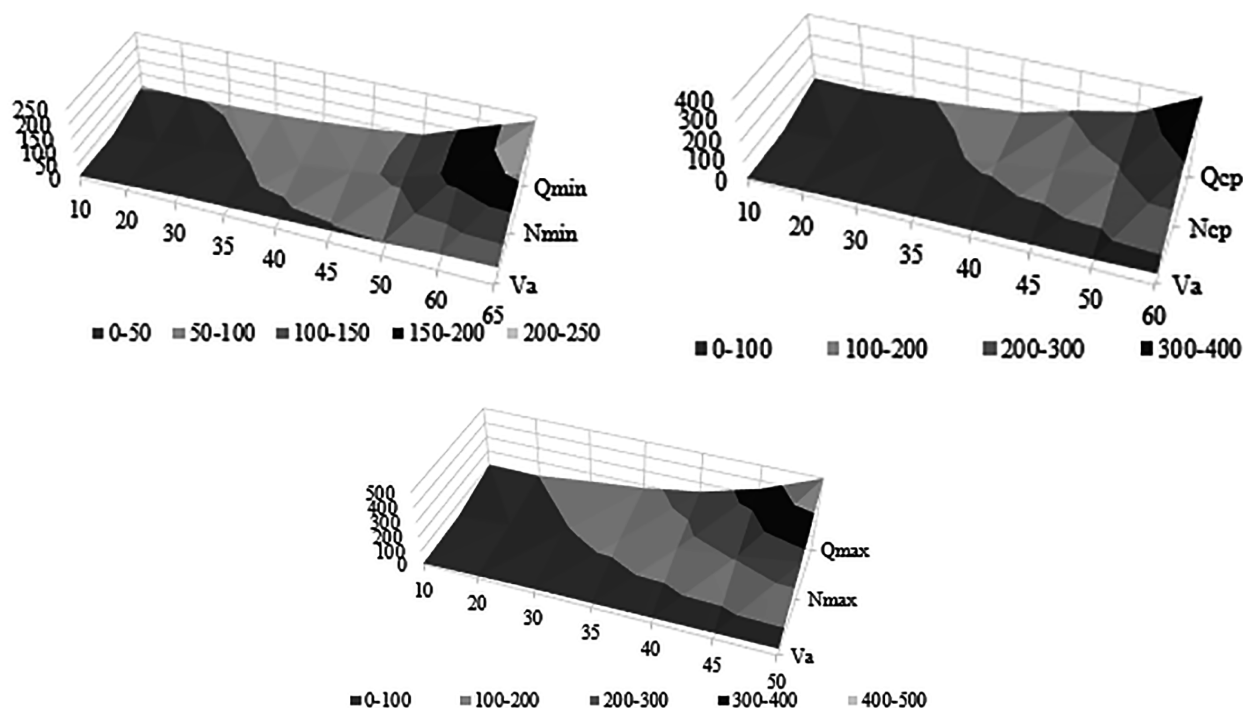
Тогда расчет расхода топлива будет определен по выражению (4):

$$Q_{\text{марш}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{k_p Q_i L_j}{100} \right) + k_{\text{сто}} Q_{\text{сто}} t_{\text{сто}} \quad (4)$$

где  $k_p$  – региональный корректирующий коэффициент при движении на  $i$ -м участке пути;

$Q_i$  – расчетный расход топлива на  $i$ -м участке пути, л/100 км;

$k_{\text{сто}}$  – региональный корректирующий коэффициент в период стоянки для проведения профилактических работ;



$Q$  – расход топлива;  $N$  – использование мощности двигателя;  $V$  – скорость движения

$Q$  – fuel consumption;  $N$  – engine power usage;  $V$  – driving speed

а) порожний автомобиль; б) частично груженный автомобиль; в) груженный автомобиль

a) empty vehicle; б) partially loaded vehicle; в) fully loaded vehicle

**Рисунок 2 – Модель зависимости расхода топлива автомобиля при его движении по автозимнику**

**Figure 2 – A model of the dependence of a vehicle's fuel consumption when driving on winter roads**

$Q_{\text{сто}}$  – расчетный расход топлива в период стоянки для проведения профилактических работ (соответствует 0,8 л/ч).

Необходимый объем топливного бака  $V_6$  в таком случае можно определить по выражению (5):

$$V_6 > \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{k_p Q_i L_{зj}}{100} \right) + k_{\text{сто}} Q_{\text{сто}} t_{\text{сто}} \right) \quad (5)$$

где  $L_{зj}$  – максимальное расстояние между автозаправочными станциями, км.

**Заключение.** Сохранение поголовья, повышение продуктивности крупного рогатого скота и обеспечение продовольственной безопасности арктических

районов Якутии можно достичь путем оптимизации процессов доставки дополнительного объема грубых кормов.

Планирование транспортных затрат требует модернизации методики расчета расхода топлива, учитывающей такие параметры как скорость подвижного состава, фактическая мощность двигателя, дорожные условия.

В этой связи получение максимально достоверных значений расхода топлива при использовании формулы (1) требует уточнения, которое состоит в том, что при доставке грубых кормов в арктические районы республики необходимо вводить корректировочные коэффициенты для каждого участка пути, соответствующего маршруту перевозки.

## Список источников

1. Татарникова П. А., Друзянова В. П., Харлампьев А. А. Актуальные проблемы организации зимовки крупного рогатого скота и лошадей на примере Республики Саха (Якутия) // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : материалы X нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Молодежный : Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского, 2022. С. 192–197. EDN XUERFQ.
2. Cordeiro M. R. C., Mengistu G. F., Pogue S. J., Legesse G., Gunte K. E. [et al.]. Assessing feed security for beef production within livestock-intensive regions // *Agricultural Systems*. 2022. Vol. 196. P. 103348. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103348>.
3. Иванова П. Ю., Неустроев С. А. Анализ состояния, проблем и тенденций продовольственной безопасности в арктических районах Республики Саха (Якутия) // *Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения*. 2022. № 4 (12). С. 16–30. EDN JTPLTW.
4. Полешкина И. О. Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития // *Мир транспорта*. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 82–91. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-9>. EDN JFXBFZ.
5. Максимов А. В., Шогенов Ю. Х., Зиганшин Б. Г., Зими́на Л. А., Гайфуллин И. Х. Влияние способа регулирования мощности дизельного двигателя на путевой расход топлива // *Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. № 2 (50). С. 62–70. EDN FYZCLO.
6. Лимарев Д. В., Сидак В. Д., Мамонова Л. И. Расчет расхода топлива на грузовом автомобиле // *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 82–3. С. 65–67. <https://doi.org/10.18411/trnio-02-2022-101>. EDN NKNFSM.
7. Чепурков М. И., Кричевец Е. А. Оценка возможности сокращения затрат транспортных организаций путем оптимизации скоростного режима // *Вектор экономики*. 2024. № 4 (94). EDN KUKLJD.
8. Perrotta F., Trupia L., Parry T., Neves L. C. Route level analysis of road pavement surface condition and truck fleet fuel consumption // *Pavement Life-Cycle Assessment Symposium*. Champaign, Illinois, 2017.
9. Кривошапов С. И. Пути совершенствования методики нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 3–1 (8–1). С. 277–281. EDN QLNTJH.
10. Зудов Г. Ю., Буслаева И. И., Лебедев М. П., Левин А. И. Работоспособность автомобиля КамАЗ в условиях криолитозоны // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. Т. 22. № 10 (141). С. 166–177. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-10-166-177>. EDN YMZRUT.

## References

1. Tatarnikova P. A., Druzyanova V. P., Kharlampyev A. A. Actual problems of organization of wintering of cattle and horses on the example of the Republic of Sakha (Yakutia). Proceedings from Actual issues of engineering, technical and technological support of agro-industrial complex: *X Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem*. (PP. 192–197), Molodezhnyi, Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni A. A. Ezhevskogo, 2022, EDN XUERFQ (in Russ.).
2. Cordeiro M. R. C., Mengistu G. F., Pogue S. J., Legesse G., Gunte K. E. [et al.]. Assessing feed security for beef production within livestock-intensive regions. *Agricultural Systems*, 2022; 196:103348. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103348>.
3. Ivanova P. Yu., Neustroev S. A. Analysis of the state, problems and trends of food security in the arctic municipalities of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arktika 2035: aktual'nye voprosy, problemy, resheniya*, 2022;4(12):16–30. EDN JTPLTW (in Russ.).
4. Poleshkina I. O. Transport system of the Republic of Sakha (Yakutia): analysis of the state and development challenges. *Mir transporta*, 2021;19;4(95):82–91. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-9>. EDN JFXBFZ (in Russ.).
5. Maksimov A. V., Shogenov Yu. Kh., Ziganshin B. G., Zimina L. A. Gayfullin I. Kh. Effect of the method for regulating diesel engine power on the fuel consumption rate. *Vestnik Kurganskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2024;2(50):62–70. EDN FYZCLO (in Russ.).



6. Limarev D. V., Sidak V. D., Mamonova L. I. Calculation of fuel consumption by truck. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2022;82–3:65–67. <https://doi.org/10.18411/trnio-02-2022-101>. EDN NKNFSM (in Russ.).
7. Chepurkov M. I., Krichevets E. A. Assessment of the possibility to reduce costs of transport organizations by optimizing the speed mode. *Vektor ekonomiki*, 2024;4(94). EDN KUKLJD (in Russ.).
8. Perrotta F., Trupia L., Parry T., Neves L. C. Route level analysis of road pavement surface condition and truck fleet fuel consumption. Proceedings from Pavement Life-Cycle Assessment Symposium. Champaign, Illinois, 2017.
9. Krivoshepov S. I. Ways to improve the methodology of fuel consumption rationing on motor transport. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*, 2014;2;3–1(8–1):277–281. EDN QLNTJH (in Russ.).
10. Zudov G. Yu., Buslaeva I. I., Lebedev M. P., Levin A. I. KamAZ performance in conditions of permafrost region. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018;22;10(141):166–177. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-10-166-177>. EDN YMZRUT (in Russ.).

© Татарникова П. А., Друзьянова В. П., Петров Н. В., 2025

Статья поступила в редакцию 24.04.2025; одобрена после рецензирования 28.05.2025; принята к публикации 30.05.2025.

The article was submitted 24.04.2025; approved after reviewing 28.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

### Информация об авторах

**Татарникова Полина Александровна**, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0003-3616-3189, Author ID: 1125464, [polina\\_yakutsk@mail.ru](mailto:polina_yakutsk@mail.ru);

**Друзьянова Варвара Петровна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой машиноведения, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0001-5409-3837, Author ID: 314980, [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru);

**Петров Николай Вадимович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0002-8927-7828, Author ID: 904371, [petnikvad1988@mail.ru](mailto:petnikvad1988@mail.ru)

### Information about the authors

**Polina A. Tatarnikova**, Senior Lecturer at the Department of Operation of Motor Transport and Auto Repair, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0003-3616-3189, Author ID: 1125464, [polina\\_yakutsk@mail.ru](mailto:polina_yakutsk@mail.ru);

**Varvara P. Druzyanova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0001-5409-3837, Author ID: 314980, [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru);

**Nikolay V. Petrov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Operation of Motor Transport and Auto Repair, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0002-8927-7828, Author ID: 904371, [petnikvad1988@mail.ru](mailto:petnikvad1988@mail.ru)

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.  
**The authors declare no conflicts of interests.**