

ТРАНСПОРТ

УДК 629.113, 656.136

DOI: 10.25198/2077-7175-2020-3-111

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ

А. Ю. Барыкин¹, Р. Х. Тахавиев²

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

¹e-mail: AJBarykin@kpfu.ru

²e-mail: trh_ineka@mail.ru

С. В. Горбачев

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

e-mail: trf12@mail.osu.ru

***Аннотация.** Статья содержит актуальную информацию о влиянии технического состояния ведущих мостов на безотказность и долговечность автомобиля. Проведенный анализ научно-технической литературы и сведений об условиях эксплуатации грузовых автомобилей основан на системном подходе к оценке технического состояния автомобиля. Изучение рекомендаций научных работ и технической документации позволило установить недостаточное внимание к проблеме тепловой подготовки ведущего моста при эксплуатации в зимних условиях. Для объективной оценки технического состояния ведущего моста были рассмотрены основные факторы, определяющие влияние водителя и окружающей среды на рабочий процесс передачи и распределения мощности в трансмиссии. На основании опыта эксплуатации грузовых автомобилей КамАЗ сделан вывод о комплексном воздействии отрицательных факторов на вероятность отказа деталей при эксплуатации в зимних условиях.*

Целью настоящего исследования является изучение тепловой нагрузки ведущих мостов грузового автомобиля в условиях зимней эксплуатации. На основании сведений о рациональных диапазонах рабочих температур трансмиссионного масла и деталей моста поставлена задача теоретического и экспериментального исследования теплового состояния трансмиссии. Приведены основные положения разработанной методики расчета теплового баланса ведущего моста, которая учитывает весомые факторы окружающей среды и представляет научную новизну. Установлены критические зоны ведущего моста, тепловое состояние которых в период зимней эксплуатации влияет на безотказность и долговечность деталей.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований ведущих мостов автомобиля КамАЗ. Дорожные испытания проводились в различных условиях эксплуатации с целью установления температурных градиентов в критических зонах узлов. Тепловые карты критических зон снимались последовательно на различных этапах пробега. Полученные результаты подтверждают теоретические положения авторов статьи и представляют научный и практический интерес.

Рекомендовано проведение тепловой подготовки ведущих мостов перед началом эксплуатации в зимнее время. Продолжение научных исследований связывается авторами статьи с реализацией метода бортового контроля и поддержания рациональных температур трансмиссионного масла и деталей моста во время зимней эксплуатации автомобилей.

***Ключевые слова:** грузовой автомобиль, ведущий мост, температурный градиент, тепловая подготовка, зимняя эксплуатация, тепловая карта, отказ узла, подогревательное устройство.*

***Для цитирования:** Барыкин А. Ю., Тахавиев Р. Х., Горбачев С. В. Исследование нагрузки ведущих мостов грузового автомобиля КамАЗ // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 3. – С. 111–118. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-3-111.*

INVESTIGATION OF THE LOADING OF THE LEADING AXLES OF A KAMAZ TRUCK

A. Yu. Barykin¹, R. Kh. Takhaviev²

Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

¹e-mail: AJBarykin@kpfu.ru

²e-mail: trh_ineka@mail.ru

S. V. Gorbachev

Orenburg State University, Orenburg, Russia

e-mail: trf12@mail.osu.ru

Abstract. *The article contains relevant information on the influence of the technical condition of the driving axles on the reliability and durability of the car. The analysis of scientific and technical literature and information on the operating conditions of trucks is based on a systematic approach to assessing the operational condition of a vehicle. Studying the recommendation of scientific works and technical documentation allowed us to establish insufficient attention to the problem of thermal preparation of the drive axle during operation in winter conditions. For an objective assessment of the technical condition of the drive bridge, the main factors that determine the influence of the driver and the environment on the working process of transmission and power distribution in the transmission were considered. Based on the experience of operating KamAZ trucks, it is concluded that the impact of negative factors on the probability of component failure during operation in winter conditions is complex.*

The purpose of this study is to study the thermal loading of the truck's driving axles in winter conditions. Based on information about the rational ranges of operating temperatures of transmission oil and axle parts, the task of theoretical and experimental study of the thermal state of the transmission is posed. The main provisions of the developed methodology for calculating the heat balance of the drive axle are presented, which takes into account significant environmental factors and represents scientific novelty. Critical zones of the drive axle have been identified, the thermal state of which during winter operation affects the reliability and durability of parts.

The article presents the results of experimental studies of the leading bridges of the KamAZ automobile. Road tests were carried out under various operating conditions in order to establish temperature gradients in the critical zones of the nodes. Thermograms of critical zones were taken sequentially at different stages of the run. The results obtained confirm the theoretical positions of the authors full of scientific and practical interest.

It is recommended that thermal preparation of the drive axles be carried out before winter operation. The continuation of scientific research is associated by the authors of the article with the implementation of the method of on-board control and maintaining rational temperatures of gear oil and axle parts during winter operation of cars.

Keywords: *lorry, drive axle, temperature gradient, thermal preparation, winter operation, heat map, unit failure, heating device.*

Cite as: Barykin, A. Yu., Takhaviev, R. Kh., Gorbachev, S. V. (2020) [Investigation of the loading of the leading axles of a KamAZ truck]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 111–118. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-3-111.

Введение

Климатические условия эксплуатации автомобильного транспорта в нашей стране являются одним из важнейших факторов, существенно влияющих на эффективность перевозок. Значительная среднегодовая разность температур атмосферного воздуха в большинстве природно-климатических зон предопределяет высокий уровень требований к конструкции подвижного состава. Наиболее сложные условия эксплуатации возникают в районах Сибири и Крайнего Севера, а также в зоне умеренного климата при низких температурах воздуха. Техническая эксплуатация автомобильного транспорта усложняется в силу ускоренного износа и поломок деталей, отказа механизмов и систем [1–3, 11, 12, 15].

Одним из методов решения данной проблемы является тепловая подготовка автомобилей к началу эксплуатации, обеспечивающая приемлемый рабочий режим при запуске двигателя и начале движения. Однако по ряду причин такая подготовка носит избирательный характер и распространяется только на силовой агрегат, реже – на отдельные узлы (аккумуляторную батарею, коробку передач). Механизмы трансмиссии начинают работу в режиме холодного старта, что не способствует безотказности и долговечности деталей. Кроме того, может быть оказано негативное влияние на ряд эксплуатационных свойств автомобиля [5].

Авторами статьи исследованы вопросы теплообмена узлов трансмиссии автомобиля с окружа-

ющей средой в зимних условиях эксплуатации, обеспечения рациональных тепловых режимов работы ведущих мостов грузового автомобиля за счёт применения внешних и бортовых устройств подогрева. Исключение влияния перечисленных негативных факторов может в существенной мере снизить вероятность отказов автомобилей на линии из-за поломок деталей и неисправностей механизмов трансмиссии.

Обзор литературы в области задач исследования

Вопросам теплообмена узлов автомобиля с окружающей средой и реализации мероприятий по уменьшению отрицательного воздействия низких температур воздуха посвящен ряд работ отечественных учёных. Чаще всего основное внимание уделяется тепловому состоянию двигателя и его подготовке к запуску в холодное время года [7, 12, 14]. Наибольшее значение для исследования теплового состояния трансмиссии имеет изложенная в перечисленных работах информация о нагруженности деталей и последствиях холодного запуска. Можно предположить, что механизм воздействия окружающей среды остается неизменным и при рассмотрении его применительно к ведущему мосту и другим узлам автомобиля.

Различные способы тепловой подготовки описаны в работах [3, 6, 11], где уделено внимание обеспечению надёжности эксплуатации автомобилей в условиях экстремальных воздействий климатических факторов. В данных трудах, как и в ряде других, внешнее тепловое воздействие рассматривается применительно ко всей ходовой части автомобиля. В то же время внутренний или бортовой подогрев с помощью различных устройств предлагается только для силового агрегата (например, за счет изменения нагрева моторного масла или охлаждающей жидкости). Возможность использования бортовых источников тепловой энергии для обеспечения нормального рабочего состояния ведущих мостов является недостаточно изученной. В данном случае может быть рассмотрено применение энергии отработанных газов, направляемых к ведущим мостам с помощью фальш-поддонов и других приспособлений, или преобразование электрической энергии в тепловую посредством нагревательного устройства, устанавливаемого непосредственно в главной передаче.

В. Ф. Платонов в работе [10], анализируя тепловое состояние трансмиссии полноприводных автомобилей в зимних условиях, указывает на различия условий эксплуатации среднего и заднего ведущих мостов, вызванные подвижностью воздуха. Скорость и направление ветра в зимних условиях являются весомыми факторами, влияющими на нагруженность деталей и потери в трансмиссии.

Следует также учитывать возможное воздействие атмосферных осадков, наносимых ветром, так как слой воды или снега на поверхности картера моста требует дополнительных затрат энергии при направленном изменении теплового баланса.

Д. А. Антонец в работе [2] исследует влияние отрицательных температур атмосферного воздуха на гидродинамическое сопротивление качению и несущую способность масляного клина в парах трения. Он утверждает, что момент сопротивления вращению в подвижных соединениях привода двигателя возрастает пропорционально увеличению динамической вязкости трансмиссионного масла.

М. М. Мухаметдинов в работе [9] на основании данных стендовых испытаний главных передач автомобилей КамАЗ отмечает влияние на долговечность и работоспособность данного узла состояния трансмиссионного масла. Попадание посторонних примесей (пыли, грязи и т.п.), описанное в работе [9], является весьма вероятным в зимних условиях вследствие снижения эластичности уплотнений моста.

Влияние водителя, как элемента естественнотехнической системы, следует принимать во внимание только в случае применения на автомобиле ведущих мостов с ручной блокировкой межколёсных дифференциалов. В данном случае высока вероятность возникновения циркуляции паразитной мощности в межколёсном и (или) межосевом контурах, и, вследствие этого, заметное увеличение нагруженности деталей [6].

Помимо изменения условий смазки пар трения при низких рабочих температурах [8], необходимо принимать во внимание возрастание хладноломкости деталей и отклонение от заданных значений величин зазоров и натягов в соединениях, вследствие объемного сжатия деталей. Наиболее существенным, как отмечено в вышеуказанной работе, является изменение предварительного натяга подшипников, приводящее к снижению жесткости главной передачи, и, как следствие, к резкому сокращению ресурса.

Комплексное воздействие динамических нагрузок и окружающей среды является причиной многочисленных видов отказов деталей главной передачи, дифференциала и привода колес. В работе [1] перечислены основные признаки нерабочего состояния деталей ведущего моста, вызванного различными причинами, в том числе и названными выше.

Снижение показателей безотказности и долговечности деталей влияет на уровень технической эксплуатации парка подвижного состава. Как показано в работе [4], совокупность затрат на запасные части и агрегаты определяется суммарной наработкой парка на отказ, а также распределением отказов по деталям и узлам для соответствующих типов автомобилей. Изменение потребности в запасных

частях, связанное с природно-климатическими факторами, предложено исследовать с помощью XYZ-анализа номенклатуры.

Методика решения поставленных задач

Анализ условий нагружения деталей главной передачи показал целесообразность выделения участков в продольном и поперечном сечениях, температурное состояние которых оказывает наиболее весомое влияние на работоспособность. Такие участки, или критические зоны, связаны с расположением наиболее ответственных деталей главной передачи. Исследование условий эксплуатации показало, что в вертикальной плоскости оси ведущего вала двойной главной передачи автомобиля КамАЗ критическими зонами являются передний конический роликовый подшипник и область венца конической шестерни, в вертикальной плоскости оси вала цилиндрической шестерни - цилиндрический роликовый подшипник, область венца цилиндрической шестерни и конический роликовый подшипник (контактирующий с опорной шайбой гайки подшипников).

Теоретическое исследование условий возникновения температурных градиентов в критических зонах главной передачи может быть произведено с применением классических положений теории теплообмена.

Тепловой процесс взаимодействия с окружающей средой может быть описан с помощью математической модели теплового баланса главной передачи при подготовке к началу эксплуатации [13]:

$$W_n = 3,6 \cdot \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{t_{mn}}, \quad (1)$$

где

W_n – потребная мощность бортового подогревательного устройства;

Q_1 – количество теплоты, требуемое для нагрева деталей главной передачи и части деталей ведущего моста;

Q_2 – количество теплоты, требуемое для нагрева трансмиссионного масла в картере главной передачи;

Q_3 – количество теплоты, расходуемое при нагреве главной передачи на теплообмен с окружающей средой;

Q_4 – количество теплоты, расходуемое в неучтенных процессах теплообмена с окружающей средой и деталями автомобиля;

t_{mn} – время подогрева.

При расчете количества теплоты, затрачиваемой в том или ином процессе, необходимо учитывать влияние посторонних факторов, существенно изменяющих равновесное состояние. При определении составляющей Q_1 необходимо принимать поправку на рассеивание тепловой энергии и нагрев смежных деталей трансмиссии, при нахождении составляющей Q_2 следует принимать во внимание эффективность работы нагревательного устройства, при расчёте Q_3 учитывать скорость ветра.

Точное определение ряда коэффициентов и проверка достоверности предложенной модели в целом возможны при проведении дорожных испытаний ведущих мостов в различных условиях эксплуатации. Такие испытания осуществлены в Закамском регионе Республики Татарстан в летнее и зимнее время года на грузовом автомобиле КамАЗ-65115 (рисунок 1). Оценка теплового состояния ведущего моста в летнее время производилась с целью определения базовых условий нагружения деталей в условиях нормальной температуры и подвижности атмосферного воздуха.



Рисунок 1. Главная передача и межосевой дифференциал ведущего моста грузового автомобиля

Исследования теплового состояния среднего и заднего мостов производились при различных режимах нагружения (в груженом и порожнем состоянии), при различных значениях технической скорости, температуры и подвижности атмосферного воздуха, времени в пути. Загрузка производилась

строительным песком в пределах номинальной грузоподъемности. Оценка температурных градиентов проводилась с применением тепловизора Hotfind DX. На рисунках 2 и 3 показаны результаты измерений в летнее и зимнее время соответственно.

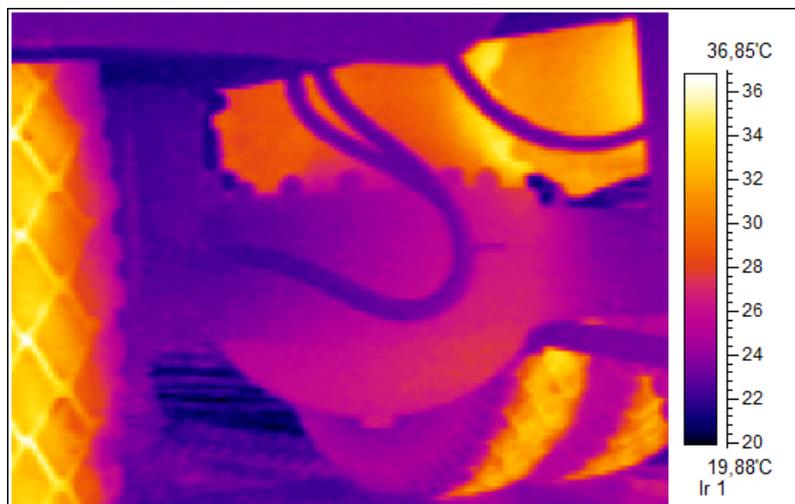


Рисунок 2. Тепловая карта среднего ведущего моста при работе в карьере

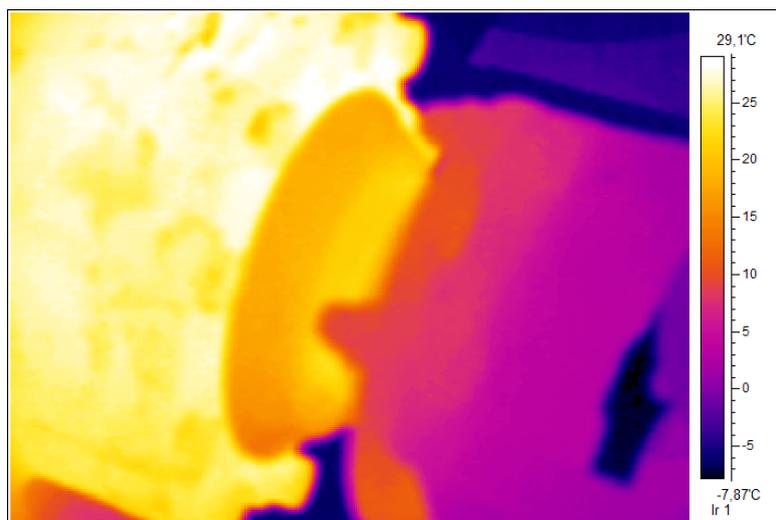


Рисунок 3. Тепловая карта хвостовой части среднего ведущего моста после пробега

В ходе испытаний установлены значения температурных градиентов, возникающих при работе ведущих мостов в различных климатических условиях. Подтверждена правомерность выделения критических зон, влияющих на тепловое состояние ответственных деталей. Определены эмпирические коэффициенты, используемые в математической модели теплового баланса главной передачи.

Целесообразность проведения предстартовой и текущей тепловой подготовки ведущих мостов подтверждается данными дорожных испытаний. Рациональный уровень теплового воздействия

устройства подогрева должен определяться в результате расчета теплового баланса ведущих мостов для наиболее вероятных условий эксплуатации.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Предложенное в ходе теоретических исследований математическое обоснование условий возникновения температурных градиентов в критических зонах главной передачи получило подтверждение в результатах дорожных испытаний. Обоснована необходимость контроля теплового состояния глав-

ной передачи для обеспечения безотказности и долговечности ведущего моста. Данный контроль должен осуществляться как при начале эксплуатации, так и на протяжении маршрута доставки груза.

Дана количественная и качественная оценка составляющих теплового баланса ведущего моста, которые определяются режимом работы трансмиссии, внешним влиянием дороги и окружающей среды, уровнем теплового воздействия подогревательного устройства.

Установлена необходимость совершенствования предложенной математической модели для повышения степени универсальности, например, в случаях загрязнения трансмиссионного масла или образования слоя атмосферных осадков на поверхности моста.

Литература

1. Азаматов Р. А., Дажин, В. Г., Кулаков А. Т., Модин А. И. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ. – Вологда: ПФ «Полиграфист», 1994. – 215 с.
2. Антонец Д. А. Надежность подшипников качения трансмиссий и ходовых частей тракторов в зонах холодного климата // Вестник ИрГСХА. – 2011. – № 45. – С. 75–78.
3. Анисимов И. А., Белов А. Г. Повышение эффективности использования автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: материалы Всероссийского постоянно действующего семинара. – Пенза: ПДЗ, 2004. – С. 86–88.
4. Барыкин А. Ю., Тахавиев Р. Х. К вопросу ограниченности принципа Парето – эффективности при проведении ABC – анализа номенклатуры автомобильных запасных частей // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 9. – С. 24–25.
5. Долгушин А. А., Курносов А. Ф., Шведов С. П. Выбор трансмиссионных масел для зимней эксплуатации автомобилей // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2011. – № 11. – С. 10–12.
6. Долгушин А. А., Ляпин В. Г., Шведов С. П. Обоснование мощности СВЧ-нагревателя для КПП автомобиля КАМАЗ // Вестн. Новосиб. гос. аграр. ун-та. – 2011. – № 1 (22). – С. 112–118.
7. Калимуллин Р. Ф. Эффективность предпускового подогрева автомобильного двигателя // Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 1. – С. 11–17.
8. Кламанн Д. Смазки и другие родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты.: пер. с англ. / Под ред. Ю. С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
9. Мухаметдинов М. М. К вопросу об оптимальном проектировании агрегатов и систем автомобилей // Неоднородные конструкции. Труды Уральского семинара. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 1998. – С. 77–82.
10. Платонов В. Ф. Полноприводные автомобили. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
11. Семенов Н. В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. – М.: Транспорт, 1993. – 190 с.
12. Филькин Н. М., Галиев Р. М., Назаров Ф. Л., Хафизов Р. А. Сбор информации для бортовых систем диагностирования о техническом состоянии двигателя при эксплуатации грузового автомобиля // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2019. – № 2 (22). – С. 58–64.
13. Barykin A. Yu., Mukhametdinov M. M., Tachaviyev R. Kh., Samigullin A. D. Studying the Effects of Mechanical Loads and Environmental Conditions on the Drive-Axle Performance // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering V. 570 (2019) Is. 012010.
14. Kulakov A. T., Gafiyatullin A. A., Barylnikova E. P. Providing normal conditions of lubricating of diesel engine during its operation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Volume 69, Issue 1, 2014, № 012027.
15. Martin H. Elektronisch geregelte elektromagnetische Visco-Lufterkupplungen für Nutzfahrzeuge. / ATZ, 1993, No.5. S. 240–247.

References

1. Azamatov, R. A., Dazhin, V. G., Kulakov, A. T., Modin, A. I. (1994) *Vosstanovleniye detaley avtomobiley KamAZ* [Recovery of KamAZ car parts]. Vologda: PF "Polygraphist", 215 p.

Заключение

Обеспечение эффективной и безопасной работы автомобильного транспорта в регионах России с низкими температурами зимнего периода эксплуатации имеет большое практическое значение. Поэтому реализация мероприятий по повышению безотказности и долговечности узлов трансмиссии грузовых автомобилей, используемых в междугородных перевозках, является весьма актуальной. Для создания рациональных температурных условий работы ведущих мостов грузового автомобиля необходима разработка методики выбора способа тепловой подготовки, осуществляемой в том числе в течение выполнения перевозок грузов по заданному маршруту.

2. Antonets, D. A. (2011) [Reliability of rolling bearings of transmissions and chassis of tractors in cold climate zones]. *Vestnik IrGSKHA* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy]. Vol. 45, September, pp. 75–78. (In Russ.).
3. Anisimov, I. A., Belov, A. G. (2004) [Improving the efficiency of using cars in low-temperature operating conditions] *Mater. Vserossiyskogo postoyanno deystvuyushchego seminara «Ekologicheskaya bezopasnost' regionov Rossii i risk ot tekhnogennykh aviariy i katastrof»* [Mater. All-Russian Permanent Workshop “Ecological Safety of Russian Regions and the Risk from Technological Accidents and Disasters”]. Pp. 86–88. (In Russ.).
4. Barykin, A. Yu., Tahaviev, R. Kh. (2015) [On the issue of the limitations of the Pareto principle – efficiency when conducting ABC – analysis of the range of automotive spare parts]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 9, pp. 24–25. (In Russ.).
5. Dolgushin, A. A., Kurnosov, A. F., Shvedov, S. P. (2011) [The choice of gear oils for winter operation of cars]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel. khoz-va* [Mechanization and electrification of villages. households]. Vol. 11, pp. 10–12. (In Russ.).
6. Dolgushin, A. A., Lyapin, V. G., Swedov, S. P. (2011) [Justification of the power of the microwave heater for the checkpoint of the KAMAZ automobile]. *Vestnik Novosib. gos. agrar. un-ta* [Bulletin of Novosibirsk state agrarian. university]. Vol. 1, pp. 112–118. (In Russ.).
7. Kalimullin, R. F. (2015) [The effectiveness of preheating of an automobile engine]. *Vestnik Sibirskoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian Automobile and Road Academy]. Vol. 1, pp. 11–17. (In Russ.).
8. Klamann, D. (1988) *Smazki i drugiye rodstvennyye produkty. Sintez. Svoystva. Primeneniye. Mezhdunarodnyye standarty* [Lubricants and other related products. Synthesis. Properties Application. International standards]. Moscow: Chemistry, 488 p.
9. Mukhametdinov, M. M. (1998) [On the issue of optimal design of aggregates and systems of automobiles]. *Neodnorodnyye konstruksii. Trudy Ural'skogo seminara* [Inhomogeneous constructions. Proceedings of the Ural Seminar]. pp. 77–82. (In Russ.).
10. Platonov, V. F. (1989) *Polnoprivodnyye avtomobili* [All-wheel drive cars]. Moscow: Mechanical Engineering, 312 p.
11. Semenov, N. V. (1993) *Ekspluatatsiya avtomobiley v usloviyakh nizkikh temperatur* [Car operation at low temperatures]. Moscow: Transport, 190 p.
12. Filkin, N. M., Galiev, R. M., Nazarov, F. L., Khafizov, R. A. (2019) [Information gathering for on-board diagnostic systems about the technical condition of the engine during truck operation]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova* [Bulletin of IzhSTU named after M. T. Kalashnikov]. Vol. 2 (22), pp. 58–64.
13. Barykin, A. Yu., Mukhametdinov, M. M., Tachaviyev, R. Kh., Samigullin, A. D. (2019) Studying the Effects of Mechanical Loads and Environmental Conditions on the Drive-Axle Performance. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 570, Is. 012010.
14. Kulakov, A. T., Gafiyatullin, A. A., Barylnikova, E. P. (2014) Providing normal conditions of lubricating of diesel engine during its operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 69, Issue 1, 2014, № 012027. (In Eng.).
15. Martin, H. (1993) Elektronisch geregelte elektromagnetische Visco-Lufterkupplungen für Nutzfahrzeuge. *ATZ*. Vol. 5, pp. 240–247. (In Deutc.).

Информация об авторах:

Алексей Юрьевич Барыкин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

ORCID ID: 0000-0001-8552-1451, **Researcher ID:** O-4747-2015, **Scopus Author ID:** 57212536899

e-mail: AJBarykin@kpfu.ru

Раяз Халимович Тахавиев, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

ORCID ID: 0000-0002-1175-2334, **Researcher ID:** N-9596-2015, **Scopus Author ID:** 56459011300

e-mail: trh_ineka@mail.ru

Сергей Викторович Горбачев, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

e-mail: trf12@mail.osu.ru

Статья поступила в редакцию: 10.02.2020; принята в печать: 28.04.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Alexey Yuryevich Barykin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chair of Road Transport Exploitation, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

ORCID ID: 0000-0001-8552-1451, **Researcher ID:** O-4747-2015, **Scopus Author ID:** 57212536899

e-mail: AJBarykin@kpfu.ru

Rayaz Halimovich Takhaviev, Senior Lecturer, Department of Road Transport Exploitation, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

ORCID ID: 0000-0002-1175-2334, **Researcher ID:** N-9596-2015, **Scopus Author ID:** 56459011300

e-mail: trh_ineka@mail.ru

Sergey Viktorovich Gorbachev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Road Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia

e-mail: trf12@mail.osu.ru

The paper was submitted: 10.02.2020.

Accepted for publication: 28.04.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.