

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РУЛЕВЫХ РЕЕК ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗАМЕНЫ МАСЛА

А. Д. Кустиков<sup>1</sup>, Н. А. Кузьмин<sup>2</sup>, Г. В. Борисов<sup>3</sup>

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

<sup>1</sup> e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: kuznntu@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: bgv-nn@yandex.ru

**Аннотация.** На городских маршрутах снижение уровня долговечности работы агрегатов микроавтобусов обуславливается, прежде всего, частыми поворотами, остановками и последующим разгоном.

Инструкции заводов изготовителей по обслуживанию микроавтобусов не учитывают особенностей поперечных профилей маршрутов, при этом затраты пассажирских предприятий на различных маршрутах могут отличаться. Целью данной работы является снижение затрат на эксплуатацию подвижного состава за счет повышения долговечности рулевых механизмов микроавтобусов путем разработки организационно-технологических решений для технического обслуживания.

Свойства работающих масел агрегатов микроавтобусов заметно меняются в зависимости от времени и условий эксплуатации. В них накапливаются продукты окисления и дорожной пыли, в результате меняются их физико-химические показатели. В частности, в ту или иную сторону изменяется вязкость, содержание воды и абразивных частиц, что ведет к разрушению зубчатых передач и сальников.

Для уточнения процесса изменения свойств масла проведены контрольные заборы проб с последующим анализом. На основании полученных экспериментальных данных выявлены аппроксимируемые степенными функциями закономерности изменения массовой доли воды, количества и размеров механических примесей в маслах рулевых реек при работе микроавтобусов на городских маршрутах, позволяющие обеспечить своевременное выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту; уточнена математическая модель процесса изнашивания рабочих поверхностей зубьев реечного механизма, отражающая зависимость значений износов от значений пробегов городских микроавтобусов Ford Transit.

Проведенные исследования указывают на необходимость корректирования обслуживания рулевых механизмов микроавтобусов Ford Transit. Установлено, что к пробегу 75 000 км в масле массовая доля воды и абразивных частиц достигают критического значения, испытания на коррозию и совместимость с резиной масло также не выдерживает.

Одним из путей снижения затрат на ремонт представляется корректирование перечня технического обслуживания микроавтобусов, работающих на городских маршрутах. Для повышения долговечности предложен расчет периодичности замены масла. Критерием для формирования выборки наработок принимались значения массовой доли воды и механических примесей. В рамках подконтрольной эксплуатации установлено, что смещение периодичности замены масла позволяет снизить количество отказов реечных механизмов на 23%.

Дальнейшим этапом научной работы является формирование базы данных городских маршрутов с различными профилями, уточнение модели износа с учетом количества нагрузок на маршруте и создание автоматизированной системы выбора интервалов обслуживания агрегатов автобусов.

**Ключевые слова:** микроавтобус, городские маршруты, рулевая рейка, масло, загрязнения, дефект, периодичность обслуживаний.

**Для цитирования:** Кустиков А. Д., Кузьмин Н. А., Борисов Г. В. Повышение долговечности рулевых реек путем корректирования периодичности замены масла // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 6. – С. 79–87, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-79>.

## IMPROVING THE DURABILITY OF STEERING RACKS BY ADJUSTING THE FREQUENCY OF OIL CHANGE

A. D. Kustikov<sup>1</sup>, N. A. Kuzmin<sup>2</sup>, G. V. Borisov<sup>3</sup>

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>1</sup> e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: kuznntu@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: bgv-nn@yandex.ru

**Abstract.** On urban routes, the decrease in the level of durability of the minibus units is caused primarily by frequent turns, stops and subsequent acceleration.

*The instructions of manufacturers for the maintenance of minibuses do not take into account the peculiarities of the transverse profiles of routes, while the costs of passenger enterprises on different routes may differ. The purpose of this work is to reduce the cost of operating rolling stock by increasing the durability of steering mechanisms of minibuses by developing organizational and technological solutions for maintenance.*

*The properties of working oils of minibus aggregates vary markedly depending on the time and operating conditions. Oxidation products and road dust accumulate in them, as a result, their physico-chemical parameters change. In particular, the viscosity, water content and abrasive particles change in one direction or another, which leads to the destruction of gears and oil seals.*

*To clarify the process of changing the properties of the oil, control sampling was carried out with subsequent analysis. On the basis of the experimental data obtained, the regularities of changes in the mass fraction of water, the amount and size of mechanical impurities in steering rack oils during the operation of minibuses on urban routes, approximated by power functions, have been identified, allowing for timely performance of maintenance and repair work; the mathematical model of the process of wear of the working surfaces of the teeth of the rack mechanism is refined, reflecting the dependence of the wear values on the mileage values of Ford Tranzit city minibuses.*

*The conducted studies indicate the need to adjust the maintenance of steering mechanisms of Ford Tranzit minibuses. It was found that by the run of 75,000 km in the oil, the mass fraction of water and abrasive particles reach a critical value, the oil also does not withstand corrosion tests and compatibility with rubber.*

*One of the ways to reduce repair costs is to adjust the list of maintenance of minibuses operating on urban routes. To increase durability, the calculation of the frequency of oil change is proposed. The values of the mass fraction of water and mechanical impurities were taken as the criterion for the formation of a sample of developments. Within the framework of controlled operation, it was found that shifting the frequency of oil change reduces the number of rack-and-pinion failures by 23%.*

*The next stage of scientific work is the formation of a database of urban routes with different profiles, refinement of the wear model taking into account the number of loads on the route and the creation of an automated system for selecting service intervals for bus units.*

**Key words:** minibus, urban routes, steering rail, oil, pollution, defect, frequency of maintenance.

**Cite as:** Kustikov, A. D., Kuzmin, N. A., Borisov, G. V. (2022) [Improving the durability of steering racks by adjusting the frequency of oil change]. *Intellect. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 6, pp. 79–87, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-6-79>.

## Введение

Во многих городах Российской Федерации на маршрутах используются микроавтобусы. Эксплуатация ведется согласно заводским инструкциям. При этом система технического обслуживания не учитывает таких особенностей городских маршрутов, как количество остановок, поворотов и подъемов. В результате затраты на обслуживание и ремонт получаются разными. Так, распространенной причиной отказов являются дефекты рулевых механизмов. В связи с этим актуальным является исследование и обоснование причин снижения долговечности рулевых механизмов микроавтобусов, обслуживающих городские маршруты, а также разработка мероприятий по снижению количества отказов и достижению экономического эффекта.

В рамках ранее проведенных в НГТУ научно-практических работ было доказано, что причиной снижения долговечности агрегатов является снижение показателей качества масла при эксплуатации на городских маршрутах [1–9, 12–14, 17, 18]. В этой связи можно предположить, что причиной отказов рулевых механизмов также является изменение характеристик масла и требуется корректирование их обслуживания.

Результаты данной работы имеют практическую ценность для инженерно-технического персонала транспортных предприятий и применяются в учеб-

ных программах кафедры «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р. Е. Алексеева.

**Целью работы**, проводящейся в НГТУ им. Р. Е. Алексеева, является снижение затрат на эксплуатацию подвижного состава за счет повышения долговечности рулевых механизмов микроавтобусов путем разработки организационно-технологических решений для технического обслуживания.

**Объектом разработки** являются рулевые рейки микроавтобусов Ford Tranzit, рисунок 1, обслуживающих городские маршруты.

## Анализ причин дефектов рулевых реек

Рулевая рейка предназначена для передачи момента вращения руля через карданный и зубчатый валы на горизонтальный реечный механизм, поступательное движение которого через специальные наконечники с рычагами обеспечивает поворот колёс вокруг их оси [11, 16].

К признакам дефектов рулевой рейки относятся: стук, утечки жидкости, биение и люфт рулевого колеса.

Согласно ранее проведенным исследованиям, причиной стука являются увеличенный зазор в зацеплении ведущей шестерни с зубчатой рейкой, а также зазор между упором рейки и рейкой вследствие износа антифрикционного материала упора рейки [10].

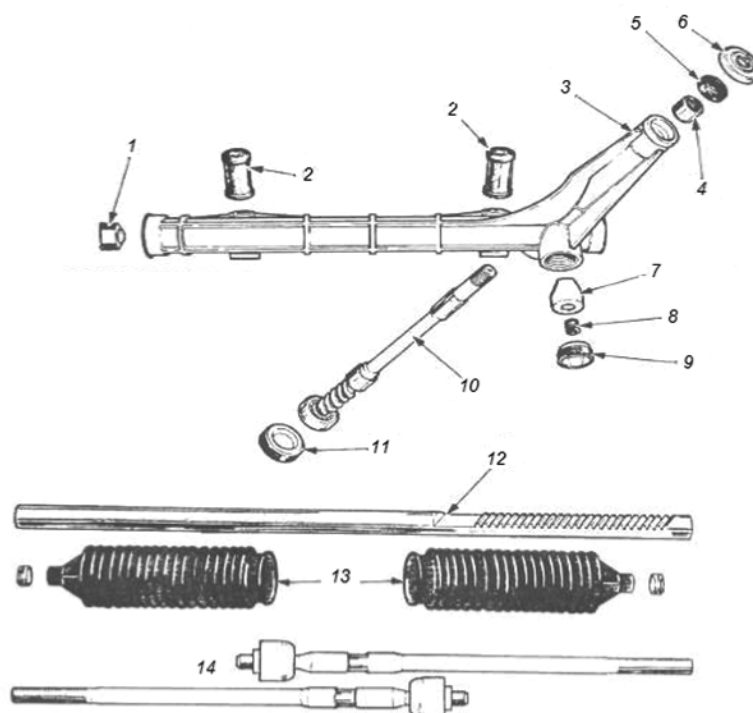


Рисунок 1. Рулевая рейка Ford Tranzit:

1 – втулка; 2 – подушки крепления рулевого механизма; 3 – корпус; 4 – верхний подшипник вала ведущей шестерни; 5 – сальник; 6 – пыльник верхнего подшипника; 7 – упор рейки; 8 – пружина упора рейки; 9 – регулировочная пробка упора рейки; 10 – ведущая шестерня с валом и нижним подшипником; 11 – крышка нижнего подшипника; 12 – зубчатая рейка; 13 – пыльники; 14 – рулевые тяги

Источник: заимствовано из [11]

На автомобилях Ford Tranzit преждевременный износ деталей рулевого механизма является следствием разрыва пыльника, через который на рулевую рейку попадает влага и грязь. В результате на червячной паре увеличивается люфт.

Воздух, находящийся под пыльниками рулевых тяг, должен беспрепятственно перепускаться из одного пыльника в другой, чтобы пыльники не раздувались и не сжимались, оставаясь герметичными. В рассматриваемой конструкции пыльники объединены отдельной трубкой – воздуховодом. Из-за неплотного соединения трубки с пыльником внутрь рейки поступает воздух, содержащий водяные пары. Появление влаги под пыльниками рейки

приводит к разрушению сальников, что влечет за собой утечку масла.

#### Результаты исследований свойств рабочего масла

Полагаясь на научные разработки кафедры автомобильного транспорта НГТУ им. Р. Е. Алексеева [4, 8, 10, 11, 16], оценить состояние деталей реечного механизма можно путем анализа состояния рабочего масла. В таблице 1 приведены результаты анализа пробы масла, взятого на пробеге 75 000 км из исправного реечного механизма микроавтобуса Ford Tranzit.

Таблица 1. Показатели свойств масла при пробеге 75 000 км Ford Tranzit

№	Наименование показателей	Нормы	Фактически	Методы испытаний
1	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не более	0,930	0,923	ГОСТ 3900
2	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с, (сСт)	14,0–16,0	14,60	ГОСТ 33
3	Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	185	198	ГОСТ 4333
4	Температура застывания, °С, не выше	–20	–25	ГОСТ 20287

Продолжение таблицы 1

№	Наименование показателей	Нормы	Фактически	Методы испытаний
5	Массовая доля механ. примесей, %, не более	0,0300	0,0298	ГОСТ 6370
6	Массовая доля воды, %, не более	0,0300	0,0581	ГОСТ 2477
7	Испытание на коррозию (3 часа при 100 °С) на пластинах из стали и меди	выдерживает	не выдерживает	ГОСТ 2917
8	Массовая доля активных элементов серы, не более, %	–	–	ГОСТ 1437
9	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 6307
10	Совместимость с резиной УИМ-1 (по изменению объема), %	4–10	11,09	ГОСТ 9.03 ГОСТ 23652

Источник: разработано авторами

Согласно проведенному анализу, масло к пробегу 75 000 км уже потеряло свои свойства, так как не выдерживает испытания на коррозию и совместимость с сальниками, а массовая доля механических примесей достигла критического значения. При этом на исследуемом автомобиле не было видимых внешних повреждений пыльников и утечек, что указывает на необходимость уточнения процесса

изменения свойств масла, а также корректирования периодичности и перечня обслуживания.

Путем анализа проб масла, забор которых осуществлялся с периодичностью 15 000 км из рулевых реек Ford Tranzit, установлены значения массовой доли воды на пробегах  $l_i$  при эксплуатации микроавтобусов на городских маршрутах. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2.

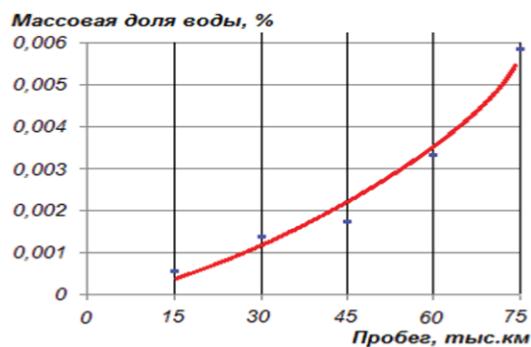


Рисунок 2. Зависимость массовой доли воды от пробега

Источник: разработано авторами

Для экспоненциальной зависимости можно записать:

$$\omega = \alpha_0 e^{a_1 l} \tag{1}$$

Параметры  $\alpha_0$ ,  $a_1$  аппроксимирующих функций находятся методом наименьших квадратов, тогда функция массовой доли воды от пробега на городском маршруте примет вид:

$$\omega_i = 0,00052 \cdot e^{0,05582l_i} \tag{2}$$

Согласно исследованиям Крагельского И. В. [5], износ зубьев реечной передачи может быть рассчитан по следующей формуле:

$$h \approx 9,6 \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2,5} r^{0,5}}{\varepsilon_0' HB_1^{1,5} HB_2} \left[ \frac{m(z_1 + z_2) \sin \alpha_d}{\cos \alpha_d (1 - \cos^2 \alpha_d \sin^2 \beta_d)} \right]^{1/2} y_n n_n$$

где

- $\varepsilon$  – концентрация абразивных примесей, %;
- $\sigma$  – условно разрушающее напряжение, кгс/мм<sup>2</sup>;
- $r$  – средний размер частиц, мм;

- $\varepsilon_0$  – относительное удлинение материала при разрыве, %;
- $t$  – коэффициент усталости материала при пластических деформациях;
- $HB_1, HB_2$  – твердости сопряженных поверхностей по Бринеллю,  $HB$ ;
- $m$  – модуль нормальный, мм;
- $z_1$  – число зубьев рейки;
- $z_2$  – число зубьев ведущей шестерни;
- $\alpha_d$  – угол зацепления, град;
- $y_n$  – геометрический коэффициент износа шестерни;
- $n_n$  – число нагружений.

В приведенной формуле переменными являются параметры абразивных частиц, концентрация и размер которых меняются в процессе эксплуатации, а повышение вязкости масла при обводнении не учитывается.

Несмотря на то, что повышение вязкости масла незначительно при обводнении, можно предположить, что повышенная концентрация воды является причиной появления абразивных примесей в масле,

что, в свою очередь, ведет к повышенному износу в зацеплении ведущей шестерни с зубчатой рейкой (рисунок 3).

Как ранее было указано, водяные пары попадают внутрь рейки из-за неплотного соединения трубки с пыльником, что является недостатком конструкции, изменения которой могут проводиться только по предписанию завода-изготовителя дилерскими предприятиями в рамках гарантийных обязательств.



Рисунок 3. Ведущая шестерня рулевой рейки  
 Источник: разработано авторами

В условиях пассажирского предприятия возможно корректирование интервалов технического обслуживания. Согласно формуле Крагельского И. В., для упреждения повышенного износа реечной передачи необходимо установить

значения параметров абразивных частиц на пробегах, кратных периодичности обслуживания. На рисунках 4, 5 приведены экспериментальные зависимости параметров частиц от пробегов.

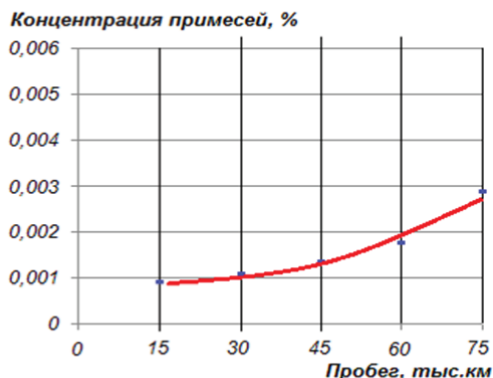


Рисунок 4. Зависимость концентрации примесей от пробега  
 Источник: разработано авторами



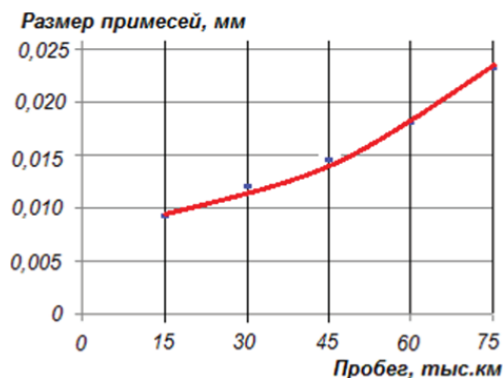


Рисунок 5. Зависимость размера примесей от пробега

Источник: разработано авторами

Аппроксимирующие функции концентрации и размера частиц от пробега имеют вид:

$$\varepsilon_i = 0,00047 e^{0,05567i}; r_i = 0,00688 e^{0,02875i} \quad (4)$$

Подставляя полученные функции параметров расчета износа (3), получим зависимость износа от частиц от пробега (4) в формулу Крагельского для пробега:

$$h_1 \approx \frac{0,001483 \sigma^{2,5}}{\varepsilon_0^t HB_1^{1,5} HB_2} \left[ \frac{m(z_1 + z_2) \sin \alpha_d}{\cos \alpha_d (1 - \cos^2 \alpha_d \sin^2 \beta_d)} \right]^{1/2} y_n e^{0,05148 n} \eta_n \quad (5)$$

Математическая модель (5) позволяет определять износы зацепления ведущей шестерни с зубчатой рейкой. Задачей дальнейших исследований является подсчет количества нагружений в рулевом механизме на различных городских маршрутах с целью выявления зависимостей между поперечным профилем маршрута и износом зубчатых зацеплений.

### Корректирование обслуживания рулевых реек

Проблема снижения уровня долговечности рулевой рейки может быть решена путем корректи-

рования периодичности замены масла. Для этого необходимо формирование выборки отказов, что в разрезе данной работы означает момент, когда в рабочем масле массовые доли воды и механических примесей одновременно принимают значения выше предельно-допустимого, а именно, 0,0300%.

Из подконтрольной эксплуатации получена выборка наработок, при которых массовые доли воды и механических примесей одновременно принимали значения выше нормы.

Таблица 2. Нарботки с превышением массовых долей воды и механических примесей, км

Нарботка, км	Нарботка, км	Нарботка, км	Нарботка, км	Нарботка, км
78969	78849	76818	78557	79614
77616	75707	78839	76724	78828
76697	74730	78601	75909	79996

Источник: разработано авторами

Методом по допустимому уровню безотказности рассчитана оптимальная периодичность замены масла, получено значение 72 860 км.

При этом, согласно рисунку 2, массовая доля воды была превышена уже при пробеге 52 000 км, что может быть причиной появления механических примесей к пробегу 75 000 км. Это указывает на необходимость дальнейшего исследования свойств

работающего масла и уточнения формулы износов в зацеплении рулевого механизма с учетом массовой доли воды.

На данном этапе исследования представляется рациональным проводить замену масла в рейке каждые 60 000 км, что является кратным периодичности ТО, установленной заводом-изготовителем, и согласуется с результатами проведенных измерений.

### Заключение

Предложенные научно обоснованные организационно-технологические решения имеют существенное значение для обеспечения эффективной эксплуатации микроавтобусов на городских маршрутах:

– выявлены аппроксимируемые степенными функциями закономерности изменения массовой доли воды, количества и размеров механических примесей в маслах рулевых реек при работе микроавтобусов на городских маршрутах, позволяющие обеспечить своевременное выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту;

– уточнена математическая модель процесса изнашивания рабочих поверхностей зубьев реечного

механизма, отражающая зависимость значений износосов от значений пробегов городских микроавтобусов Ford Transit;

– в рамках подконтрольной эксплуатации установлено, что смещение периодичности замены масла позволяет снизить количество отказов реечных механизмов на 23%.

Дальнейшим этапом научной работы является формирование базы данных городских маршрутов с различными профилями, уточнение модели износа с учетом количества нагружений на маршруте и создание автоматизированной системы выбора интервалов обслуживания агрегатов автобусов.

### Литература

1. Алгоритм бортового диагностирования смазочной системы автомобильного дизеля. / А. С. Денисов [и др.] // Научная жизнь. – 2020. – № 3. – С. 378–386.
2. Калимуллин Р. Ф. Научные основы поддержания работоспособности автомобильных двигателей методами трибодиагностики: монография – Оренбург: Университет. – 2016. – 271 с.
3. Катаргин В. Н. Особенности эксплуатации и организация технического обслуживания преселективных трансмиссий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения – Новосибирск, 2019. – № 1. – С. 29–35.
4. Корчажкин М. Г., Кузьмин Н. А., Кустиков А. Д. Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2012. – № 4. – С. 168–174.
5. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Кузьмин Н. А., Борисов Г. В. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография – Н. Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2012. – 270 с.
7. Кулаков А. Т., Нуретдинов Д. И., Назаров Ф. Л. Диагностирование двигателя по количественным и качественным параметрам масла // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием имени В. В. Михайлова. – вып. 33. – Саратов: Амирит, 2020. – С. 78–82.
8. Кустиков А. Д., Ясенов В. В. Особенности корректирования периодичности замены трансмиссионного масла городских автобусов при эксплуатации на маршрутах с подъемами // Автотранспортное предприятие, 2015. – № 1. – С. 42–44.
9. Назаров Ф. Л., Ханнанов М. Д., Калимуллин Р. Ф. Обоснование потенциала увеличения интервала замены моторного масла двигателя КАМАЗ Р-6 [Электронный ресурс] // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 3. – С. 71–80.
10. Прошин Д. Н., Кузьмин А. Н., Кустиков А. Д. Обоснование периодичности технического обслуживания рулевого механизма MITSUBISHI PAJERO SPORT II // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 7. – С. 120–128. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-7-121/>
11. Шапкина Ю. В. Анализ виброакустических характеристик рулевого управления автомобиля // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 3. – С. 93–97. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=34947/>
12. Шупляков В. С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля – М.: Транспорт, 1974. – 328 с.
13. Щетинин С. Ф. Предельные износы и сроки службы автомобильных шестерен, деталей шлицевых сопряжений – М.: ЦНИТИ, ЦБТИ, 1963. – 61 с.
14. Якунин Н. Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации. – М.: Машиностроение – 1, 2003. – 178 с.
15. Fujikawa K. (1998) [Analysis of steering column vibration, Motion & Control]. No. 4, pp. 37–41.
16. Peskov V. I. (2018) [Critical analysis of new equation of the wheel machine motion]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 102, Development, Research, Certification. Сер. “102nd International Scientific and Technical Conference “Intelligent Systems of Driver Assistance: Development, Research, Certification””, P. 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/386/1/012004>.
17. Suleimanov I. F. et al (2019) The concept of maintaining the efficiency of automobile engines methods tribodiagnosics. ПАОАВЖ – Vol. 10 (S 2). – pp. 47–50.
18. Suleimanov I. F. et al. (2018) The maintenance of operability of vehicles with fatigue damages of ele-

ments of the bearing systems. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)* – Vol. 8, Special Iss. 8. – pp. 418–425.

#### References

1. Denisov, A. S. et al. (2020) [Algorithm of on-board diagnostics of the lubricating system of an automobile diesel engine]. *Nauchnaya zhizn* [Scientific life]. Vol. 3, pp. 378–386. (In Russ.).
2. Kalimullin, R. F. (2016) *Nauchnyye osnovy podderzhaniya rabotosposobnosti avtomobil'nykh dvigateley metodami tribodiagnostiki: monografiya* [Scientific bases of maintenance of working capacity of automobile engines by methods of tribodiagnosics: monograph.] Orenburg, 292 p.
3. Katargin, V. N. (2019) [Features of operation and organization of maintenance of preselective transmissions]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State University of Railways]. Vol. 1, pp. 29–35. (In Russ.).
4. Korchazhkin, M. G., Kuzmin, N. A., Kustikov, A. D. (2012) [Improving the standards of technical operation of city buses]. *Trudy NGTU im. R.Ye. Alekseyeva* [Trudy NGTU named after R.E. Alekseyeva]. Vol. 4, pp. 168–174. (In Russ.).
5. Kragelsky, I. V., Dobyichin, M. N., Kombalov, V. S. (1977) *Osnovy raschetov na treniye i iznosc* [Fundamentals of calculations for friction and wear]. Moscow, 526 p.
6. Kuzmin, N. A., Borisov, G. V. (2012) [Scientific foundations of the processes of changing the technical condition of cars: monograph] – N. Novgorod: NSTU named after R. E. Alekseev. – 2012, 270 p.
7. Kulakov, A. T., Nuretdinov, D. I., Nazarov, F. L. (2020) [Engine diagnostics by quantitative and qualitative parameters of oil]. *Problemy ekonomichnosti i ekspluatatsii avtotraktorovoy tekhniki: materialy Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem imeni V. V. Mikhaylova* [Problems of efficiency and operation of automotive equipment: materials of the V. V. Mikhailov National Scientific and Technical Conference with international participation]. Vol. 33, pp. 78–82. (In Russ.).
8. Kustikov, A. D., Yasenov, V. V. (2015) [Features of correcting the frequency of replacing the transmission oil of city buses when operating on routes with lifts]. *Avtotransportnoye predpriyatiye* [Motor Transport Enterprise]. Vol. 1, pp. 42–44. (In Russ.).
9. Nazarov, F. L., Khannanov, M. D., Kalimullin, R. F. (2022) [Substantiation of the potential of increasing the engine oil replacement interval of the KAMAZ R-6 engine]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 71–80. (In Russ.).
10. Proshin, D. N., Kuzmin, A. N., Kustikov, A. D. (2019) [Justification of the frequency of maintenance of the steering mechanism MITSUBISHI PAJERO SPORT II]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 7, pp. 120–128, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-7-121>. (In Russ.).
11. Shapkina, Yu. V. (2015) [Analysis of vibroacoustic characteristics of car steering]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high-tech technologies]. Vol. 3, pp. 93–97, <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=34947> (In Russ.).
12. Shuplyakov, V. S. (1974) *Kolebaniya i nagruzhennost' transmissii avtomobilya* [Fluctuations and loading of the transmission of the car.]. Moscow, 328 p.
13. Shchetinin, S. F. (1963) *Predel'nyye iznosy i sroki sluzhby avtomobil'nykh shesteren, detaley shlitsevykh sopryazheniy* [Extreme wear and service life of automobile gears, splined coupling parts.]. Moscow, 61p.
14. Yakunin, N. N. (2003) *Metodologicheskiye osnovy kontrolya i upravleniya tekhnicheskim sostoyaniyem avtomobiley v ekspluatatsii* [Methodological foundations of control and management of the technical condition of cars in operation.]. Moscow, 178 p.
15. Fujikawa, K. (1998) [Analysis of steering column vibration, Motion & Control]. Vol. 4, pp. 37–41. (In Engl.).
16. Peskov, V. I. (2018) [Critical analysis of new equation of the wheel machine motion]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 102, Development, Research, Certification. Ser. “102nd International Scientific and Technical Conference “Intelligent Systems of Driver Assistance: Development, Research, Certification””. P. 012004, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/386/1/012004>.
17. Suleimanov, I. F. et al. (2019) The concept of maintaining the efficiency of automobile engines methods tribodiagnosics. *IIOABJ* – Vol. 10 (S 2), pp. 47–50. (In Engl.).
18. Suleimanov, I. F. et al. (2018) The maintenance of operability of vehicles with fatigue damages of elements of the bearing systems. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)* Vol. 8, Special Iss. 8, pp. 418–425. (In Engl.).

#### Информация об авторах:

Александр Дмитриевич Кустиков, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного



транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**ORCID ID:** 0000-0003-2916-8264

e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Николай Александрович Кузьмин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**ORCID ID:** 0000-0003-0633-3407

e-mail: kuznntu@mail.ru

**Геннадий Валерьевич Борисов**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**ORCID ID:** 0000-0003-0633-3407

e-mail: bgv-nn@yandex.ru

#### **Вклад соавторов:**

**Кузьмин Н. А.** – руководство исследованием в рамках научной работы кафедры автомобильного транспорта и сертифицированной специальной лаборатории Дзержинского политехнического института НГТУ им. Р. Е. Алексеева; редактирование и переработка рукописи.

**Кустиков А. Д.** – сбор и анализ данных исследуемых объектов; разработка математических моделей изменения массовой доли воды, концентрации и размера механических примесей в рабочем масле и уточнение формулы износов зубчатых передач Крагельского И. В.

**Борисов Г. В.** – сбор и анализ данных исследуемых объектов; решение проблемы снижения безотказности рулевых реек путем корректирования перечня обслуживания и замены масла в рулевом механизме; подбор графического материала.

Статья поступила в редакцию: 08.06.2022; принята в печать: 23.09.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### **Information about the authors:**

**Aleksander Dmitrievich Kustikov**, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Department of road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

**ORCID ID:** 0000-0003-2916-8264

e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Nikolay Alexandrovich Kuzmin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

**ORCID ID:** 0000-0003-0633-3407

e-mail: kuznntu@mail.ru

**Gennady Valerievich Borisov**, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Department of road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

**ORCID ID:** 0000-0003-0633-3407

e-mail: bgv-nn@yandex.ru

#### **Contribution of the authors:**

**Kuzmin N. A.** – research management within the framework of the scientific work of the Department of “Automobile Transport” and the certified special laboratory of the Dzerzhinsky Polytechnic Institute named after R. E. Alekseev; editing and processing of the manuscript.

**Kustikov A. D.** – collection and analysis of data of the studied objects; development of mathematical models of changes in the mass fraction of water, concentration and size of mechanical impurities in the working oil and refinement of the formula of gear wear Kragelsky I. V.

**Borisov G. V.** – collection and analysis of the objects under study; solving the problem of reducing the reliability of steering rails by adjusting the list of maintenance and oil change in the steering mechanism; selection of graphic material.

The paper was submitted: 08.06.2022.

Accepted for publication: 23.09.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.