

УДК 621.113

## ВЛИЯНИЕ ПОДЪЕМОВ НА МАРШРУТАХ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

**Корчажкин М.Г., Кузьмин А.Н., Пачурин Г.В.**

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижний Новгород, e-mail: kormg@yandex.ru, PachurinGV@mail.ru*

Работа городских автобусов в режимах повышенных нагрузок является неотъемлемой частью выполнения транспортных задач. Одним из факторов, влияющих на увеличение нагрузок на агрегаты автобусов, являются подъемы на маршрутах следования. Целью данной работы является исследование влияния подъемов на маршрутах городских автобусов на эксплуатационные показатели. Проведенные исследования позволили установить изменение показателей работы двигателей и коробок передач городских автобусов при работе на данных маршрутах. В связи с этим предложены решения по повышению надежности путем разработки: методики оценки состояния масла; обкаточного цикла после ремонта; системы оценки степени износа деталей; методики комплектования пар трения для ремонта; коэффициента корректирования периодичности и содержания технических обслуживаний, характеризующего влияние подъемов, а также проверки прочностного расчета и изменения конструкции. Однако повышенные нагрузки на маршрутах с уклонами оказывают влияние и на работу ведущих мостов, и тормозной системы.

**Ключевые слова:** отказ, двигатель, коробка передач, маршрут с подъемом, трансмиссионное масло, механические примеси, износ, обслуживание, надежность

## INFLUENCE OF RISES ON ROUTES OF THE MOVEMENT OF CITY BUSES ON OPERATIONAL INDICATORS

**Korchazhkin M.G., Kuzmin A.N., Pachurin G.V.**

*FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University», R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: kormg@yandex.ru, PachurinGV@mail.ru*

Work of city buses in the modes of the raised loadings is an integral part of performance of transport tasks. One of the factors influencing increase in loads of units of buses are rises on routes. The purpose of this work is research of influence of rises on routes of city buses on operational indicators. The conducted researches allowed to establish change of indicators of operation of engines and transmissions of city buses during the work on these routes. In this regard solutions on increase of reliability by development are proposed: techniques of an assessment of a condition of oil; an obkatochny cycle after repair; systems of an assessment of degree of wear of details; techniques of completing of couples of friction for repair; the coefficient of a correcting of frequency and the content of maintenance characterizing influence of rises, and also checks of calculation of strength calculation and change of a design. However the raised loadings on routes with biases have impact and on work of the leading bridges, and brake system.

**Keywords:** failure, engine, transmission, route with climbing, gear oil, impurities, depreciation, maintenance, reliability

При работе автобусов на маршрутах общего пользования на основные показатели технической эксплуатации влияет большое количество различных факторов. Из общего числа данных факторов особо необходимо выделить наличие различных изменений рельефа местности на маршруте. Данная особенность маршрутов сказывается на эксплуатационных показателях – расход топлива, расход масла на угар, интенсивность износа основных узлов и т.д. [7]. С точки зрения надежности наличие подъемов на маршруте следования автобусов приводит к изменению показателей безотказности и долговечности. Увеличение нагрузок на основные узлы и агрегаты автобусов неотвратимо влечет за собой снижение средней наработки на отказ. Это в свою очередь непосредственно влияет на показатели ТЭА [1]. Так, при изменении средней на-

работки на отказ агрегата обязательно изменится вид зависимости плотности вероятности отказа от наработки как агрегата, так и всего автомобиля.

Наличие подъемов сказывается и на технико-экономических показателях АТП, обслуживающих данные маршруты. Так, в Нижнем Новгороде существуют предприятия, обслуживающие только равнинные маршруты без каких-либо значительных изменений рельефа местности. В то же время часть АТП обслуживает маршруты, соединяющие районы верхней и нижней частей города. На этих маршрутах имеется значительный перепад высот. При применении одних нормативов ТЭА [4] на предприятиях, обслуживающих маршруты с подъемами, расходы на эксплуатацию автобусов выше, чем у таких же АТП, работающих на равнинных маршрутах. Это, безусловно,

связано с различием нагрузок на основные агрегаты автобусов.

Проведенные ранее исследования [4] показали, что из всех агрегатов автобусов наибольшему влиянию подъемов на маршрутах по результатам исследований подвержен двигатель. Такой вывод можно сделать на основании большого увеличения числа отказов именно двигателей. Основной причиной такого увеличения числа отказов является повышенное температурное состояние деталей ДВС [2]. На это указывает наличие таких «тепловых» отказов, которые на равнинных маршрутах крайне редки. Это значительное увеличение случаев прогаров прокладок головок блоков цилиндров, залегания поршневых колец, а иногда и прогар поршней, прогар или коробление самих головок цилиндров и т.д. Многие из указанных видов отказов на равнинных маршрутах встречаются крайне редко.

По результатам анализа маршрутной сети и геодезической карты Нижнего Новгорода, а также сбора данных по протяженности была построена эпюра характерного маршрута движения автобусов (рис. 1).

На данной эпюре приведен типичный маршрут, соединяющий разные части города. Полученная эпюра позволяет выделить участки маршрута движения автобуса, где наибольший перепад высот. На этих отрезках автобус преодолевает значительные подъемы, испытывая повышенные нагрузки. На построенной эпюре таких участков два – они обозначены I и II (рис. 1). Первый участок – Зеленский съезд, его протяженность 1071 м, перепад высот составляет 75 м. При движении по данному участку двигатель автобуса испытывает увеличенные нагрузки, в результате чего повышается его темпера-

тура. Ситуация усугубляется в летний период, когда температура окружающего воздуха от 15 °С и выше. Замеры показали, что в конце данного подъема при движении автобуса с полной нагрузкой температура охлаждающей жидкости двигателя составляет 105 °С. При таких условиях работы двигателей резко увеличивается количество «тепловых» отказов.

Аналогичная картина складывается и на втором участке маршрута – «Ракатное шоссе» (рис. 1). Протяженность этого участка 1552 м, а высота подъема – 63 м. Несмотря на большую протяженность и меньшую высоту подъема, этот участок маршрута также вызывает повышение температуры ДВС. Проблема усугубляется еще и тем, что в середине данного подъема находится остановочный пункт, в то время, как первый участок автобусы преодолевают без остановок. Подобных подъемов на маршрутах городских автобусов в городе пять, при преодолении их также наблюдается повышенное тепловое состояние автобусных двигателей.

Дальнейшие исследования эксплуатационной надежности двигателей автобусов ПАЗ-3205 проводились с использованием статистического моделирования. Исходная информация получена из экспериментальных наблюдений за отказами при непроведении ТО-2 двигателей. Информация об отказах автобусов собиралась на протяжении двух лет в пассажирских автопредприятиях г. Нижнего Новгорода. Исследования возникновения отказов городских автобусов каждой марки проводились в три основных этапа – анализ отказов по автобусу в целом; анализ отказов и построение их статистических моделей для наименее надежного агрегата.

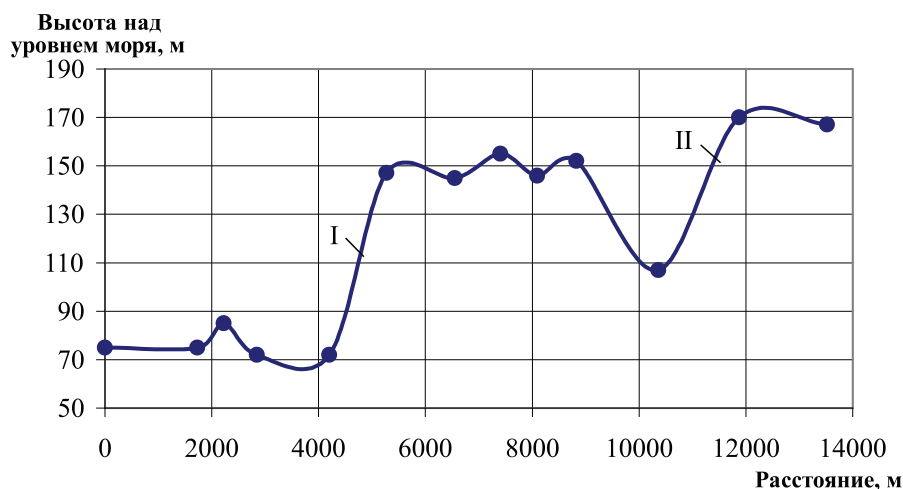


Рис. 1. Эпюра маршрута движения городского автобуса в Нижнем Новгороде

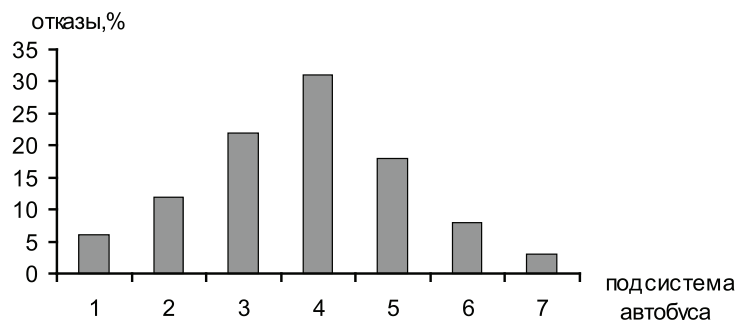


Рис. 2. Диаграмма распределения отказов автобусов ПАЗ-3205 по подсистемам:  
 1 – рулевое управление (6%); 2 – ходовая часть (12%); 3 – электрооборудование (22%);  
 4 – двигатель и его системы (31%); 5 – трансмиссия (18%);  
 6 – тормозная система (8%); 7 – кузов (3%)

В результате построена диаграмма отказов автобусов ПАЗ-3205 (рис. 2). Наибольшее количество отказов приходится на двигатель, который оказывает наибольшее влияние на эксплуатационную надежность автобусов ПАЗ-3205.

В свою очередь, при анализе отказов двигателей они разбивались по системам и механизмам: кривошипно-шатунный механизм (КШМ) с входящими в него деталями цилиндрично-поршневой группы (ЦПГ); система охлаждения; система зажигания; газораспределительный механизм (ГРМ); система питания.

По полученным результатам построена диаграмма распределения отказов двигателей автобусов ПАЗ-3205, работающих в г. Нижнем Новгороде (рис. 3).

окружающего воздуха повышается. Чаще появляются такие отказы, как прогар прокладки головки блока цилиндров, задир их зеркал, закоксовывание поршневых колец, изменение тепловых зазоров клапанов в ГРМ, реже – прогорание днищ поршней, образование в системе топливоподачи паровых пробок, растрескивание гильз цилиндров [3]. Условно назовем эти отказы «тепловыми». Необходимо отметить, что на данном этапе исследовались автобусы, работающие на равнинных маршрутах без значительных подъемов.

Дальнейшие исследования эксплуатационной надежности двигателей автобусов ПАЗ-3205 проводились с использованием статистического моделирования

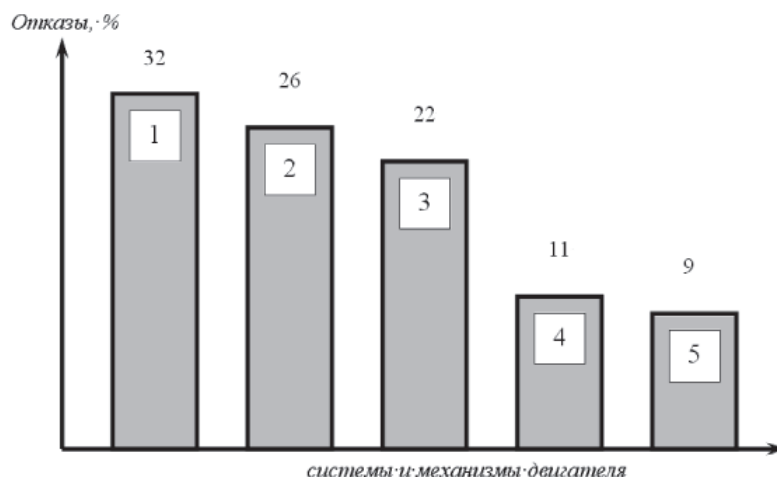


Рис. 3. Диаграмма распределения отказов двигателей автобусов ПАЗ-3205:  
 1 – КШМ (ЦПГ); 2 – система зажигания; 3 – ГРМ;  
 4 – система охлаждения; 5 – система питания

Наибольшее количество отказов приходится на КШМ с деталями ЦПГ. Данная тенденция распределения отказов усугубляется в летний период, когда температура

и разработанного программного комплекса. Исходная информация получена из экспериментальных наблюдений за отказами при непроведении ТО-2 двигателей.

Минимально необходимое количество образцов для испытаний ( $N$ ) при нормальном законе распределения случайной величины определяется как:

$$N = \frac{t_{\beta}^2 \cdot v^2}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

где  $t_{\beta}$  – коэффициент, зависящий от  $\beta$ ;  $\varepsilon$  – точность (ошибка) вычисления.

Существуют таблицы объемов испытаний и выборок в зависимости от наиболее часто применимых значений  $\varepsilon$ ,  $v$  и  $\beta$ . В результате были определены объемы испытаний исследуемых двигателей. На автобусах ПАЗ-3205 наблюдению подвергались новые двигатели, что позволило принять коэффициент  $v = 0,25$ . Для анализа эксплуатационной надежности испытаниям необходимо подвергнуть 19 автобусов ПАЗ-3205. В процессе исследований возможен преждевременный выход из строя объектов, поэтому испытаниям подвергались 20 автобусов ПАЗ-3205.

Выявлено, что отказы двигателей автобусов подчиняются нормальному закону распределения (рис. 4). Математические модели полученного теоретического закона

распределения отказов двигателей автобусов ПАЗ имеют вид для плотности распределения отказов  $f(x)$  и вероятности отказов  $F(x)$ :

$$f(x) = 0,41 \exp \left[ -\frac{(x - 23,39)^2}{187,98} \right]; \quad (2)$$

$$F(x) = \int_0^{23,39} 0,41 \exp \left[ -\frac{(x - 23,39)^2}{187,98} \right] dx. \quad (3)$$

При работе городских автобусов на маршрутах с подъемами в силу отмеченных явлений неизбежно снижается средняя наработка на отказ как всего двигателя, так и его систем. Как отмечалось, это отрицательно сказывается на показателях их эксплуатационной надежности. Увеличивается число отказов двигателей в период наработки между регламентными работами, характеризующееся определенным видом функции плотности распределения вероятности отказов.

Далее была обработана информация об отказах двигателей автобусов ПАЗ, работающих на маршрутах с подъемами, без проведения ТО-2 двигателей. Получена соответствующая функция плотности распределения их отказов (рис. 5).

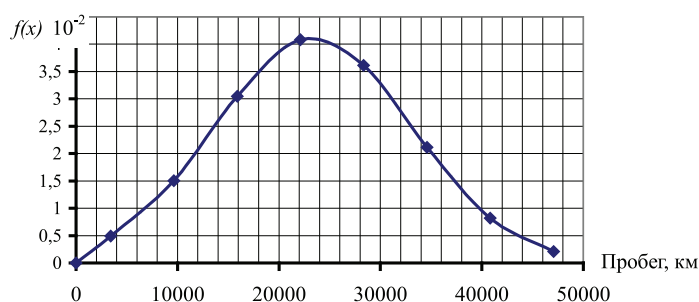


Рис. 4. Теоретическое распределение отказов двигателей автобусов ПАЗ-3205

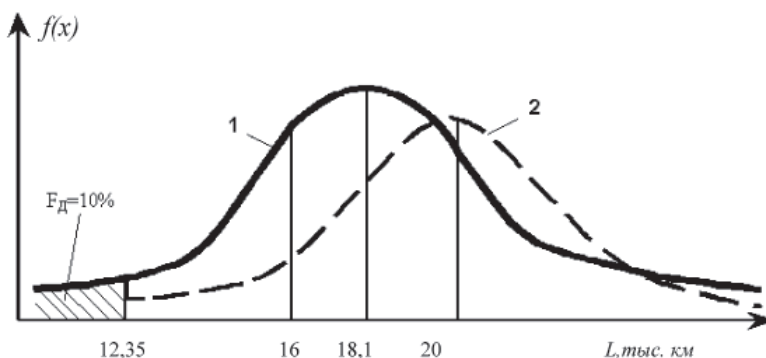


Рис. 5. Функция плотности распределения отказов двигателей автобусов ПАЗ-3205: 1 – распределение отказов при нормативной периодичности ТО-2; 2 – распределение отказов после внедрения упреждающего ТО;  $L_{ТО-2} = 16000$  км – нормативная периодичность ТО-2 автобусов ПАЗ-3205;  $L_{отк} = 18100$  км – средняя наработка на отказ двигателей;  $L_{ТО(У)} = 12350$  км – рациональная периодичность упреждающего ТО;  $L'_{отк} = 20000$  км – средняя наработка на отказ двигателей при внедрении упреждающего ТО

Целью получения данной зависимости (рис. 5) было определение рациональной периодичности ТО двигателей как наиболее нагруженных агрегатов при работе автобусов на маршрутах с подъемами. Для этого использовался метод определения периодичности технических обслуживаний по допустимому уровню безотказности. При этом допустимая вероятность отказов (риск  $F_d$ ) принята равной 10%. Оптимальная периодичность проведения ТО двигателей автобусов ПАЗ-3205 в условиях работы на маршрутах с подъемами составила  $l_0 = 12350$  км.

На следующем этапе исследований была проведена оценка влияния подъемов на маршрутах на показатели надежности трансмиссий и, в частности, коробок передач (КП) автобусов [5]. Для анализа безотказности испытаниям были подвергнуты по 20 автобусов ПАЗ-32054 для различных маршрутов. Такое количество было взято с целью исключения влияния на результаты наблюдений выходов автобусов из эксперимента. Установлено, что наибольшему влиянию уклонов на маршрутах подвержены КП (39,1% от всех отказов составляющих элементов трансмиссий). Для исследований безотказности трансмиссий и их КП автобусов ПАЗ-32054 построены статистические модели (рис. 6).

Математические модели полученного теоретического закона распределения отказов КП автобусов ПАЗ имеют вид (выражение 4 – для КП на маршрутах с уклонами, 5 – для КП на равнинных маршрутах):

$$f(x) = 0,0269 \cdot e^{-\left[\frac{(l-41,989)^2}{438,731}\right]}, \quad (4)$$

$$f(x) = 0,0207 \cdot e^{-\left[\frac{(l-52,680)^2}{738,663}\right]}, \quad (5)$$

где  $f(l)$  – плотность вероятности отказов.

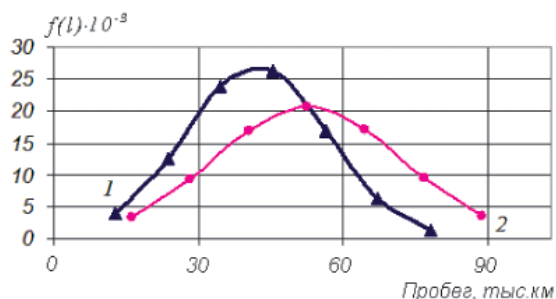


Рис. 6. Распределение отказов КП ГАЗ-3307 автобусов ПАЗ-32054:

1 – маршруты с подъемами; 2 – равнинные

Выявлено, что отказы КП автобусов подчиняются нормальному закону распределения, причём значения параметров распределения на маршрутах с уклонами значительно ниже, чем на равнинных: математическое ожидание 41989 км (52680 км для равнинных), среднеквадратическое отклонение 14811 км (на равнинных – 19217 км).

Далее проведено исследование причин отказов механических КП с проведением химического анализа трансмиссионных масел, моделирования и расчета значений параметров изнашивания зубчатых колес КП, моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) картеров КП [1]. Для трансмиссионных масел КП ГАЗ-3307 автобусов ПАЗ-32054, работающих на маршрутах с уклонами, экспериментально установлено превышение нормативного значения механических примесей до наступления регламентных замен масел. Исследования свойств масел производились в сертифицированной лаборатории НГТУ им. Р.Е. Алексеева путем отбора и анализа проб при каждом втором ТО. Существенные отклонения от норм зарегистрированы в образцах, отобранных через 38400 км пробега (периодичность регламентной замены), что представлено в таблице.

Показатели свойств трансмиссионного масла ТАп-15В при пробеге 38400 км на равнинном маршруте и маршруте с уклонами (фрагмент)

Наименование показателей	Нормативное значение	Фактическое значение		Стандарты методов испытаний
		Маршрут равнинный	Маршрут с уклонами	
Вязкость кинематическая при 100°C, мм <sup>2</sup> /с	14,0–16,0	14,70	14,97	ГОСТ 33-2000
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	не более 0,930	0,923	0,939	ГОСТ 3900-85
Температура вспышки, в открытом тигле, °C	не ниже 185	193	199	ГОСТ 4333-87
Массовая доля механических примесей, %	не более 0,03	0,0291	0,0466	ГОСТ 6370-83
Массовая доля воды, %	следы	следы	0,21	ГОСТ 2477-65
Совместимость с резиной УИМ-1 (по изменению объема), %	4–10	10,09	11,01	ГОСТ 23652-79

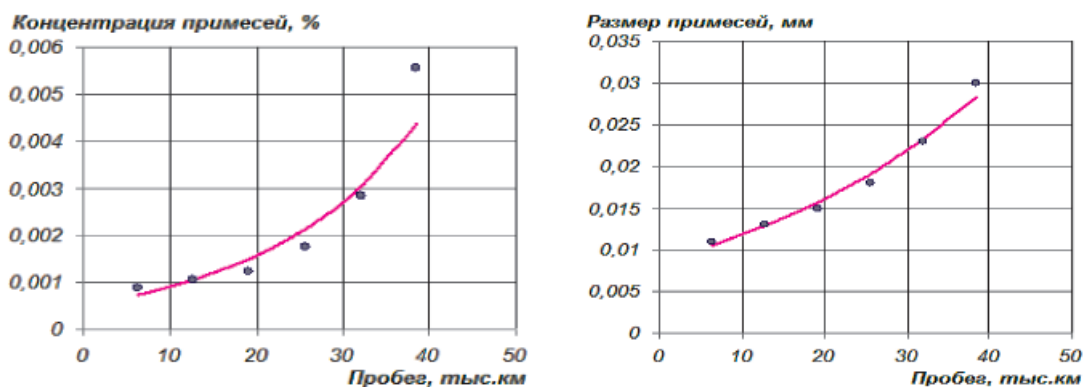


Рис. 7. Экспериментальные зависимости параметров механических примесей в маслах КП автобусов ПАЗ-32054, обслуживающих маршруты с уклонами, от пробегов

Путем анализа проб трансмиссионного масла, забор которых осуществлялся с периодичностью 6400 км из КП автобусов ПАЗ-32054, работающих на маршрутах с уклонами, установлены значения концентрации и размера механических примесей на пробегах  $l_i$  (рис. 7).

Установлено, что следствием повышенного содержания механических примесей является увеличение скорости изнашивания зубьев колес КП (особенно 1-й передачи в связи с наибольшей нагруженностью) [6]. На основании исследований определены скорректированные значения периодичности замен масел в КП автобусов ПАЗ.

Очевидно, что подъемы на маршрутах движения городских автобусов оказывают влияние на большинство нагруженных агрегатов. На данном этапе проводятся исследования эксплуатационной надежности задних мостов и тормозных систем автобусов. Отдельный интерес перевозчиков вызывает эксплуатационная надежность автоматических трансмиссий автобусов ЛиАЗ, анализ которой также проводится на кафедре «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева».

### Выводы

Рельеф местности, а в особенности наличие крутых подъемов на маршрутах эксплуатации автобусов оказывает существенное влияние на снижение надежности двигателей и коробок передач автобусов. Очевидно, что для получения полной картины влияния подъемов на маршрутах на эксплуатационные показатели необходимо исследование эксплуатационной надежности задних мостов и тормозных систем автобусов.

### Список литературы

1. Корчажкин М.Г., Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. – 2012. – № 4 (97). – С. 168–174.
2. Кузьмин Н.А. Разработка научных основ обеспечения работоспособности теплонагруженных деталей автомобильных двигателей: диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук / Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2006.

3. Кузьмин Н.А. Профилирование головок поршней ДВС // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2006. – № 12. – С. 41.
4. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 8. – С. 39.
5. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д., Ясенов В.В. Особенности работы механических коробок передач городских автобусов при эксплуатации на маршрутах с подъемами // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 4. – С. 37–39.
6. Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Кузьмин Н.А. Анализ качества проката для холодной высадки крепежных изделий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8. – С. 111.
7. Плеханов Д.К., Кузьмин Н.А. Стратегии диспетчерского управления работой грузовых автомобилей при массовых перевозках // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 12. – С. 40–41.

### References

1. Korchazhkin M.G., Kuzmin N.A., Kustikov A.D. Sovershenstvovanie normativov tehnicheckoj jekspluatacii gorodskih avtobusov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2012. no. 4 (97). pp. 168–174.
2. Kuzmin N.A. Razrabotka nauchnyh osnov obespechenija rabotosposobnosti teplonagruzhennyh detalej avtomobilnyh dvigatelej: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnicheckih nauk / Nizhegorodskij gosudarstvennyj tehnicheckij universitet. Nizhnij Novgorod, 2006.
3. Kuzmin N.A. Profilirovanie golovok porshnej DVS // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie. 2006. no. 12. pp. 41.
4. Kuzmin N.A., Kustikov A.D. Problemy nadezhnosti transmissij gorodskih avtobusov // Avtotransportnoe predpriatie. 2012. no. 8. pp. 39.
5. Kuzmin N.A., Kustikov A.D., Jasenov V.V. Osobennosti raboty mehanicheckih korobok peredach gorodskih avtobusov pri jekspluatacii na marshrutah s pod'emami // Avtotransportnoe predpriatie. 2014. no. 4. pp. 37–39.
6. Pachurin G.V., Filippov A.A., Kuzmin N.A. Analiz kachestva prokata dlja holodnoj vysadki krepezhnyh izdelij // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2014. no. 8. pp. 111.
7. Plehanov D.K., Kuzmin N.A. Strategii dispetcherskogo upravlenija rabotoj gruzovyh avtomobilej pri massovyh perevozkah // Avtotransportnoe predpriatie. 2009. no. 12. pp. 40–41.

### Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор ИПТМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород;  
 Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород.