

СТАБИЛИЗАЦИЯ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОБУСА РАБОТАЮЩЕГО НА ГОРОДСКИХ МАРШРУТАХ С УКЛОНАМИ

В работе представлены результаты исследования, направленные на повышение безотказности механических коробок передач при работе городских автобусов ПАЗ на маршрутах с уклонами.

Для формирования выборок предложено кодирование отказов трансмиссий, с применением которого был произведен расчетно-экспериментальный анализ причин увеличения отказов. Получены статистические модели законов распределения отказов КП автобусов ПАЗ. У КП ПАЗ-32054 лимитирующие детали – шестерни, у КП автобусов ПАЗ-4234 – шестерни и корпуса задних картеров.

Установлено, что основной причиной снижения уровня безотказности КП автобусов на маршрутах с уклонами является неудовлетворительное состояние трансмиссионного масла к моменту регламентной замены. Путем химического анализа проб трансмиссионного масла, установлены значения массовой доли и размера механических примесей при эксплуатации автобусов на маршрутах с уклонами. После аппроксимации экспериментальных значений получены зависимости концентрации и размера частиц от пробега на маршруте с уклонами. Предложенная в работе математическая модель позволяет определять износы шестерен 1-ой передачи механических КП городских автобусов, работающих на маршрутах с уклонами.

Рассчитаны оптимальные периодичности замены масла в КП методом определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности. Для снижения содержания в картерах остатков отработавшего масла при его замене и продуктов приработки после ремонта предлагается проводить обкатку КП с последующей промывкой для маршрутов с уклонами

Предложенные мероприятия в комплексе позволили снизить содержание примесей в трансмиссионном масле КП, в результате количество их отказов снизилось на 46%.

Ключевые слова: отказ, коробка передач, маршрут с уклонами, трансмиссионное масло, механические примеси, износ, обслуживание.

К спектру основных факторов, влияющих на безотказность автотранспортных средств (АТС), необходимо отнести наличие изменений профиля макрорельефа местности, а именно, уклонов, на маршрутах следования.

Так, например, на берегах самой крупной в Европе реки Волги расположены 65 городов. В таких городах профили макрорельефов маршрутов различны: как абсолютно ровные, так и содержат перепады высот над уровнем моря до 100 м. При этом автотранспортные предприятия (АТП) и частные перевозчики обслуживают как равнинные маршруты, так и маршруты с выраженным макрорельефом. В Нижнем Новгороде показатели безотказности автобусов, обслуживающих маршруты с уклонами, ниже, а расходы на эксплуатацию выше, чем у автобусов на равнинных маршрутах [3], [8], [9]. Существующая система корректирования периодичности и содержания технических обслуживаний (ТО) не учитывает изменений профиля макрорельефа на автомобильных маршрутах, т.к. категория условий эксплуатации определяется типом рельефа местности, имея в виду только высоту полотна дороги над уровнем моря. В этой связи, при эксплуатации АТС увеличивается поток отказов, обусловленных повышенными

нагрузками на основные агрегаты, в том числе, на коробку передач (КП). Вероятной причиной отказов является изменение эксплуатационных свойств трансмиссионных масел. Проблема может быть решена путем корректирования периодичности и содержания ТО и ремонтов (Р) КП автобусов.

С целью выявления причин различных распределений отказов на маршрутах выполнен анализ профилей макрорельефов III категории условий эксплуатации. Согласно геодезической карте Поволжья в городах автобусы могут преодолевать от 1 до 5 перепадов высот значением от 20 до 100 м с уклонами до 10%. Для выполнения анализа перепадов высот на путях следования городских автобусов построены диаграммы профилей типичных маршрутов Н.Новгорода (рис. 1).

На маршруте 1, соединяющем Нагорную и Заречную части города, отмечены два значительных подъема (А и В с перепадами высот 75 м и 63 м, соответственно). При этом маршрут 2 является равнинным.

На первом этапе для формирования выборок при построении статистических моделей безотказности и их оперативной обработки в работу технического отдела АТП включена воз-

возможность классификации отказов автобусов (их кодирование). Фрагмент классификатора представлен в таблице 1.

В 4-значной кодировке первая цифра означает крупную систему автомобиля (цифра 1 – трансмиссия, цифра 0 оставлена для двигателя, 2 – для тормозной системы и т. д.), вторая цифра – агрегат трансмиссии (цифра 0 – сцепление), третья цифра – название отказа, четвертая цифра – причина отказа. Набор 01 присвоен наиболее частой причине отказа по опыту эксплуатации, а далее – по уменьшению частоты их возникновения.

Исследования автобусов ПАЗ-32054 и ПАЗ-4234 проводились в три этапа: 1) анализ всех отказов автобуса с целью выявления наименее надежной системы; 2) анализ системы с наибольшим количеством отказов; 3) построение статистических моделей наименее надежного агрегата.

Установлено, что наибольшее количество от отказов агрегатов и систем автобусов ПАЗ-32054 приходится на трансмиссию (23,6%). Наибольшему влиянию изменений профиля макрорельефа на маршрутах подвержена КП (39,1% от всех отказов конструкционных элементов трансмиссий).

Для систематизации исследований безотказности трансмиссий и их КП автобусов ПАЗ-32054 были построены статистические модели

(выражение 1 – для КП на маршрутах с подъемами, 2 – для КП на равнинных маршрутах).

$$f(x) = 0,0269e^{-\left[\frac{(x-41,989)^2}{438,731}\right]}; \quad (1)$$

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

Выявлено, что отказы КП автобусов подчиняются нормальному закону распределения, что представлено на рисунке 2, где $f(x)$ – плотность вероятности отказов.

Аналогичные исследования и математические модели получены для автобусов ПАЗ-4234 в целом, их трансмиссий и отдельно КП. Здесь также характерно преобладание отказов трансмиссий (26,5%) и КП (49%). У КП автобусов ПАЗ-32054

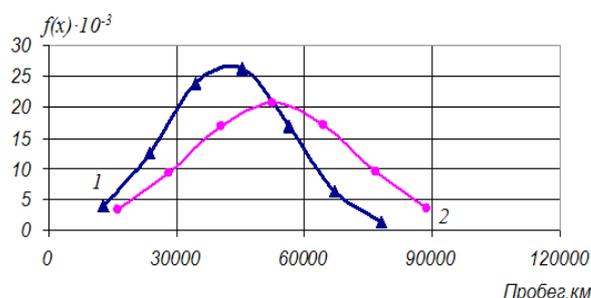


Рисунок 2. Распределение отказов КП ГАЗ-3307 автобусов ПАЗ-32054: 1 – маршруты с уклонами; 2 – равнинные

Таблица 1. Классификатор отказов трансмиссий автобусов ПАЗ (фрагмент)

Код	Название	Причина
11		Коробка передач
1111	Шум при работе КП	Ослабление крепления к картеру сцепления
1112		Выкрашивание зубьев шестерен
1113		Износ подшипников
1114		Низкий уровень масла
1121		Неполное выключение сцепления
1122	Трудное переключение передач	Износ зубчатого венца муфты, венца шестерни 2-ой передачи, торцев зубьев 1-ой передачи

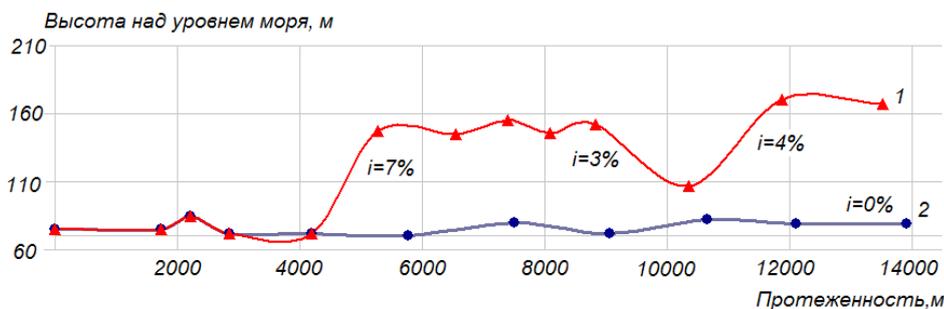


Рисунок 1. Профили маршрутов: 1 – с уклонами, 2 – равнинный, i – уклон

лимитирующие детали – шестерни (27% от всех отказов деталей КП), у КП автобусов ПАЗ-4234 – шестерни и корпуса задних картеров.

Основной причиной существенного увеличения количества отказов КП ГАЗ-3307 автобусов ПАЗ-32054, эксплуатирующихся на маршрутах с выраженным макрорельефом, являются неудовлетворительные изменения качества масел в их картере до наступления регламентных замен. Значительные отклонения были зарегистрированы в образцах, отобранных через 38400 км пробега (периодичность регламентной замены) из КП автобусов ПАЗ-32054, работающих на маршрутах с уклонами (табл. 2) [1], [6], [7], [8]. Все эксперименты по анализу химического состава трансмиссионных масел проводились в специальной сертифицированной лаборатории Дзержинского политехнического института НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Следствием повышенного содержания механических примесей является увеличение скорости изнашивания зубчатых зацеплений (особенно 1-ой передачи в связи с передачей максимального крутящего момента).

В проведенном исследовании значение износа и его скорости для 1-ой передачи рассчитывалось по формулам Крагельского И.В. [4], [8]:

$$h_1 \approx 6,8 \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2,5} r^{0,5}}{\varepsilon_0' HB_1^{1,5} HB_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2}, \quad (3)$$

$$v_{i1} \approx 4 \cdot 10^2 \frac{e^{2/3} y^{2,5} r^{0,5}}{e_0' HB_1^{1,5} HB_2} \sqrt{c^*} \frac{v_1 - v_2}{\beta v_1 + \alpha v_2} n_{ш1}, \quad (4)$$

где ε – концентрация абразивных примесей, %; σ – условно разрушающее напряжение, кгс/мм²; r – средний размер частиц, мм; ε_0 – относительное удлинение материала при разрыве, %; t – коэффициент усталости материала при пластических деформациях; HB_1, HB_2 – твердости сопряженных поверхностей по Бринеллю, HB; ρ^* – приведенный радиус кривизны поверхностей, мм; v_1 и v_2 – скорости поверхностей 1 и 2, мм/с; α и β – вероятности закрепления частицы на поверхностях 1 и 2; $n_{ш1}$ – число нагружений для поверхности 1.

В формулах (3) и (4) степень влияния величины подъемов на маршрутах движения автобусов опосредовано характеризуют два параметра – концентрация механических примесей ε и средний размер r частиц. При этом ε связано с массовой долей механических примесей ω_m по выражению:

$$\varepsilon = \omega_m \cdot \rho / \rho_m, \quad (5)$$

где ρ и ρ_m – соответственно, плотность масла и механических примесей.

Износ при одном контакте зубьев сопряженных шестерен КП (одно нагружение) на подъемах практически в 2 раза выше, чем при эксплуатации автобусов на равнинном маршруте (таблица 3).

Согласно (3) можно записать, что износ за одно нагружение h_1 – это функция двух параметров: концентрации ε_i и среднего размера r_i :

$$h_1 = F(\varepsilon_i, r_i). \quad (6)$$

Путем анализа проб трансмиссионного масла, забор которых осуществлялся с перио-

Таблица 2. Показатели свойств трансмиссионного масла марки ТАп-15В при пробеге 38400 км на городских маршрутах (фрагмент)

Наименование показателей	Нормативное значение	Фактическое значение		ГОСТ испытаний
		Маршрут равнинный	Маршрут с уклонами	
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,03	0,0291	0,0466	6370-83
Массовая доля воды, %	следы	следы	0,21	2477-65
Совместимость с резиной УИМ-1, %	4-10	10,09	11,01	23652-79

Таблица 3. Параметры для расчета и износы 1 передачи КП ПАЗ-32054

Параметр	Обозначение	Маршрут с подъемом	Равнинный маршрут
Концентрация абразива	ε , %	0,0056	0,0034
Средний размер частицы	r , мм	0,03	0,015
Износ за одно нагружение	h_1 , мкм	2·10-6	12·10-6
Скорость изнашивания	V_1 , мкм/ч	0,1124	0,0574

дичностью 6400 км из КП ПА3-32054, установлены значения массовой доли и размера механических примесей на пробегах l_i при эксплуатации автобусов на маршрутах с уклонами. Далее получены значения концентрации по формуле (5). Результаты эксперимента приведены на рисунке 3.

Для экспоненциальной зависимости можно записать [2]:

$$\varepsilon = a_0 e^{a_1 l}; \quad r = b_0 e^{b_1 l} \quad (7)$$

Параметры a_0, a_1 и b_0, b_1 аппроксимирующих функций находятся методом наименьших квадратов, тогда функции концентрации и размера частиц от пробега на маршруте с уклонами примут вид:

$$\varepsilon_i = 0,00051 \cdot e^{0,05579 l_i}; \quad r_i = 0,00866 \cdot e^{0,03085 l_i} \quad (8)$$

Подставляя полученные функции параметров частиц от пробега (8) в формулу (3), получим зависимость износа от пробега.

$$h_i = \frac{0,00394 \sigma^{2,5}}{\varepsilon_0^t HB_1^{1,5} HB_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2} e^{0,019145 l} \quad (9)$$

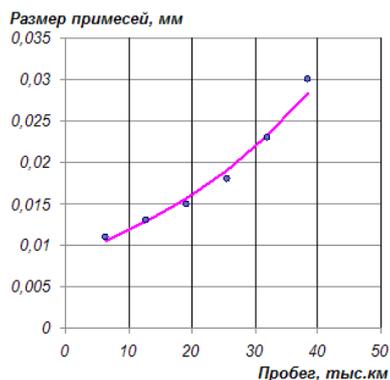
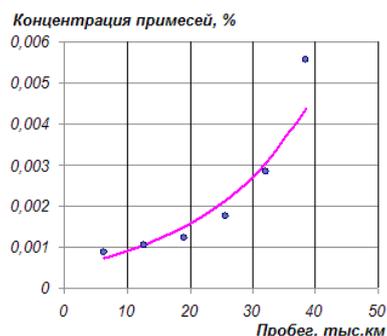


Рисунок 3. Зависимости параметров механических примесей масла в КП автобуса ПА3-32054, обслуживающего маршрут с уклонами, от пробегов

Таблица 4. Нарботки до превышения содержания механических примесей, км

35996	38894	38178	35527	38641	35349	37428	38730	39224	40112
33349	39844	41901	39779	40007	36826	37829	38912	37020	37855
36464	37858	39022	37331	37859	39095	36752	37129	36948	40535

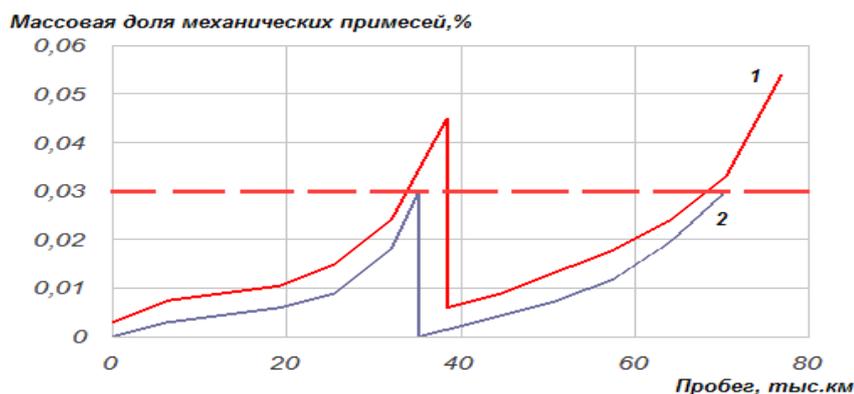
Математическая модель (9) позволяет определять износы шестерен 1-ой передачи механических КП городских автобусов, работающих на маршрутах с уклонами. Адекватность её проверена на примере автобусов ПА3-4234, оснащенных дизельными двигателями и КП ГАЗ-3309, работающих на маршрутах с уклонами в Нижнем Новгороде. Для этого по выражению (3) подсчитан износ для предельно-допустимого значения $\omega_m = 0,03\%$ при среднем размере частиц 0,015 мм. А далее с использованием модели (9) определено значение пробега при этом $l = 38719$ км.

В дальнейшем проведен комплекс исследований с химическим анализом проб масел КП и получением подобных (7) аппроксимирующих зависимостей. Экспериментальные исследования позволили установить, что массовая доля механических примесей $\omega_m = 0,03\%$ в трансмиссионном масле КП автобусов ПА3-4234, работающих на маршрутах с уклонами, наблюдается при $l = 37726$ км. Совпадение полученных пробегов с точностью до 3% свидетельствует о более чем высокой сходимости результатов, а значит об адекватности математической модели (9).

Таким образом, подтверждено, что основной причиной снижения уровня безотказности КП автобусов на маршрутах с уклонами является неудовлетворительное состояние трансмиссионного масла к моменту регламентной замены.

Проблема может быть решена путем корректирования периодичности его замены. Для этого необходимо формирование выборки отказов, что в разрезе данной работы означает момент, когда в трансмиссионном масле массовая доля механических примесей достигнет предельно-допустимого значения согласно ГОСТ 6370, а именно, 0,03%.

Выборка отказов была сформирована из реальной эксплуатации 30 автобусов ПА3-32054, работающих на маршрутах с уклонами в Нижнем Новгороде. Для этого, начиная с пробега 33000 км, раз в 2 дня, проводился химический анализ проб масел (табл. 4). Безусловно, у автобусов в пробах трансмиссионных масел КП, которых при 33000 км пробега массовая доля механических примесей была заведомо ниже



1 – до внедрения мероприятий, 2 – после внедрения мероприятий

Рисунок 6. Содержание примесей в трансмиссионном масле автобусов ПАЗ-32054 работающих на маршрута с уклонами

предельного значения, измерения проводились с пропусками дней обследования.

Вероятность отказа исследуемой операции определяется по выражению [5], [6]:

$$F_o = \int_0^{l_0} f(x) dx = F\left(\frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma}\right) \quad (10)$$

где l_0 – оптимальная периодичность операции ТО, км; \bar{X} – выборочное среднее, км; σ – среднеквадратическое отклонение, км.

Следуя алгоритму метода определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности, принимаем величину риска отказа $F_o=0,1$ (как для конструкционного элемента автомобиля, не отвечающего за БДД) [6]. Из таблицы нормального распределения получено – при $F(z)=0,1$, $Z= -1,3$. Значение оптимальной периодичности вычисляется по выражению:

$$l_0 = Z \cdot \sigma + \bar{X} = -1,3 \cdot 1363 + 36013 = 34441 \quad (11)$$

Однако, в целях оптимизации рабочего времени принимаем периодичность замены равной 35200 км, что является кратным 3200 км, а для исследуемых автобусов ПАЗ-32054 это значение пробега является половиной периодичности ТО.

Аналогичным образом рассчитана периодичность замены масла в КП ПАЗ-4234, работающих на городских маршрутах с уклонами, и получено 36281 км.

Для снижения содержания в картерах остатков отработавшего масла при его замене и продуктов приработки после ремонта предлагается проводить обкатку КП с последующей промывкой для маршрутов с уклонами: на первой пере-

даче – 40 минут; на второй передаче – 30 минут с короткими тремя переключениями на третью передачу и обратно; на третьей передаче – 20 минут с короткими переключениями на четвертую передачу и обратно; на четвертой передаче – 15 минут; на пятой передаче – 15 минут; при этом частота вращения коленчатого вала всегда должна соответствовать максимальному крутящему моменту на данной передаче. Установлено, что после обкатки КП скорость накопления суммарных примесей в трансмиссионном масле в процессе эксплуатации снижается на 6-7%. Количество отказов деталей КП уменьшается, например, для шестерен – до 25%.

Количественно подтверждена целесообразность промывки картеров КП перед сменой масел. Это существенно снижает содержание и динамику увеличения примесей в них по мере эксплуатации. При применении промывки количество отказов КП по некоторым деталям снижается до 22%. В процессе исследования проверена эффективность различных промывочных масел КП, включая иностранные. Наиболее эффективным по шкале «цена–качество» является отечественное промывочное масло ЛАВР LN 1006.

Предложенные мероприятия в комплексе позволили снизить содержание примесей (рисунок 6) в трансмиссионном масле КП, что позволило снизить количество их отказов на 46%.

Результаты исследований одобрены и приняты к внедрению в НПАП №3, внедрены в ЗАО «Автокомплекс», в ЦБДДиТЭ НГТУ, а также используются в учебном процессе НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

11.03.2015

Список литературы:

1. Аметов, В. А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла. Дисс. ... докт. техн. наук. М.: ТГАСУ, 2006. – 382 с.
2. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей. Дисс. ... докт. техн. наук. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999. – 428 с.
3. Корчажкин, М. Г. Повышение эксплуатационной надежности двигателей городских автобусов, работающих на режимах высоких тепловых нагрузок. Дисс. ... канд. техн. наук. М.; 2005. – 185 с.
4. Крагельский, И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ/ И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 526 с.
5. Кузьмин, Н.А. Теоретические основы обеспечения работоспособности автомобилей: учебное пособие/ Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. – 272 с.
6. Кузьмин, Н.А. Теория эксплуатационных свойств автомобиля / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. – М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 256 с.
7. Кузьмин, Н.А. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов/ Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков// Автотранспортное предприятие, 2013, №8 – С.39-42.
8. Кузьмин, Н.А. Особенности работы механических коробок передач городских автобусов при эксплуатации на маршрутах с подъемами / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков, В.В. Ясенов // Автотранспортное предприятие, 2014, №4 – С.37-39.
9. Турсунов, А.А. Экспериментальная оценка приспособленности АТС к горным условиям эксплуатации / А.А. Турсунов // Актуальные проблемы современной науки. – М., 2002. – №2. – С. 322 – 324.
10. Barbero, Ever J. Finite element analysis of composite materials/ Ever J Barbero – CRC Press – 2008 – 332p
11. Cezary Bojanowski. Verification. Validation and optimization Finite Element Model of bus for rollover Test: dis. ... Doctor of Philosophy./ Cezary Bojanowski – . USA., 2009.
12. Zienkiewicz, O. C. The finite element method in engineering science. – Mcgraw-Hill-London, 1971. – 541с.

Сведения об авторах:

Кузьмин Николай Александрович, заведующий кафедрой автомобильного транспорта
НГТУ им. П.Е. Алексеева, профессор, доктор технических наук, e-mail knanntu@mail.ru,

Кустиков Александр Дмитриевич, ассистент кафедры автомобильного транспорта НГТУ им. П.Е. Алексеева,
e-mail kustikov-ad@yandex.ru,

603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, 24, тел. (831) 4364383