

ЭТАПЫ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ НА МАРШРУТАХ С ПОДЪЕМАМИ

Кустиков А.Д.¹, Пачурин Г.В.¹

¹ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603600, Н. Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24, НГТУ), email:kustikov-ad@yandex.ru

Сегодня актуальной проблемой для пассажирских предприятий многих прибрежных городов является увеличение затрат, связанных с ремонтом автобусов, обслуживающих маршруты с подъемами. Выполненные ранее исследования позволили сделать вывод о том, что свойства работающего масла агрегатов трансмиссии (особенно коробки перемены передач) вследствие температурных, скоростных и нагрузочных воздействий (а также внешних загрязнений) заметно меняются в зависимости от времени и условий эксплуатации. Целью данной работы является исследование возможностей увеличения ресурса коробок передач городских автобусов, работающих на маршрутах с подъемами, на примере ПАЗ-32054 и ПАЗ-4234. 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 расчета прочностного расчета и изменения конструкции.

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

THE STAGES OF THE METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF BUSES RELIABILITY ON ROUTES WITH LIFTS

Kustikov A.D.¹, Pachurin G.V.¹.

¹Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603600, Nizhny Novgorod, GSP-41, str. Minin, 24, NSTU Univ. «PBEiH»), email: PachurinGV@mail.ru, <http://www.famous-scientists.ru/1238>

Today, the actual problem for passenger enterprises in many coastal cities is the increasing costs associated with the repair of buses serving routes with lifts. Completed earlier research has allowed to conclude that the properties of the working oil of the transmission units (especially the box changes gear) due to temperature, speed and load impacts (as well as external contamination) significantly vary with time and operating conditions. The aim of this work is to study the possibilities of increasing resource gear boxes of buses operating on routes with slopes on the example PAZ-32054 and PAZ-4234. In this regard, the proposed solutions for increasing reliability by design: the methods of assessment of oil; a test cycle after repair systems; assess the degree of wear of parts; methods of acquisition of friction pairs for repair; factor correction frequency and content of technical services, characterizing the impact of rises, as well as verification of the calculation of structural calculation and design changes.

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

Городские автобусы зачастую работают в режимах повышенных нагрузок, что влечет за собой снижение надежности и увеличение затрат на ремонт и обслуживание. Такая эксплуатация требует доработок конструкций трансмиссий и/или корректировок технических воздействий в процессе их эксплуатации[5; 8].

Для проведения анализа отказов коробок передач автобусов ПАЗ ГП НО«Нижегородпассажиравтотранс» выборка была обработана по системам, и по полученным результатам построена гистограмма распределения отказов коробок передач автобусов ПАЗ – 32054 (рис.1).

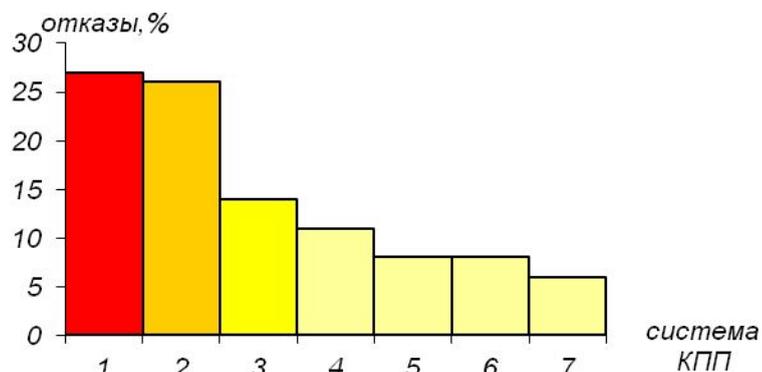


Рис.1. Распределение отказов коробок передач автобусов:

1 – шестерни; 2 – подшипники; 3 – синхронизаторы; 4 - валы; 5 – сальники; 6 – картер; 7 – механизм переключения.

Здесь приведено распределение отказов коробок передач автобусов, работающих в условиях III категории эксплуатации, в Н.Новгороде. Наибольшее количество отказов приходится на отказы шестерен (27%), подшипников (26%), синхронизаторов (14%) и валов (11%), что связано с повышенными нагрузками, возникающими при преодолении затяжных подъемов[6; 7].

О преимущественном абразивном изнашивании трансмиссии свидетельствуют данные выполненных нами ранее исследований: массовая доля механических примесей в пробах трансмиссионного масла вдвое выше при эксплуатации на маршрутах с подъемами, в отличие от равнинных маршрутов, где все показатели в пределах нормы (табл. 1).

Таблица 1

Анализ масла трансмиссионного марки ТАп-15В при пробеге 40 тыс. км на равнинном маршруте и маршруте с подъемом

Наименование показателей	Нормы	Фактически (равнинный)	Фактически (с подъемом)	Методы испытаний
Массовая доля механических примесей, %, не более	0.03	0.0291	0.0466	ГОСТ 6370
Массовая доля воды, %, не более	следы	следы	0.21	ГОСТ 2477
Совместимость с резиной УИМ-1 (по изменению объема),%	4-10	10.09	11.01	ГОСТ 9.03 ГОСТ 23652 п.5.9

Тяжелые условия работы, динамический характер нагружения, абразивные частицы снижают прочность и время эксплуатации зубчатых передач и их приводов.

Принятая оценка долговечности зубчатой передачи по исходным параметрам эвольвентных профилей зубьев является приближенной. Такая оценка не содержит отражения того факта, что из-за износа зубьев форма профиля становится отличной от эвольвентной. В результате изменяются нагрузочно-кинематические параметры контакта, которые, в свою очередь, изменяют темп изнашивания и форму профилей зубьев.

Крагельский И.В. предложил рассчитывать износ зубчатых передач статистическими методами, основанными на вероятности попадания абразивной частицы в контакт между зубьями [2].

Для рассмотрения задачи механики абразивной частицы в зазоре вводится вероятностное представление ее скорости v как линейной комбинации скоростей поверхностей v_1 и v_2 :

$$v = \alpha v_1 + \beta v_2, \quad (1)$$

где α и β — вероятности закрепления частицы соответственно на поверхностях 1 и 2, средние значения которых приближенно можно принять обратно пропорциональными твердостям сопряженных поверхностей, поскольку твердость является определяющим фактором глубины внедрения индентора в поверхность.

Вероятностное представление скорости позволяет разграничить систему трех взаимодействующих элементов (поверхность 1 — частица — поверхность 2) на две независимые подсистемы (поверхность 1 — частица) и (поверхность 2 — частица) и в каждой из этих подсистем определить характеристики движения частицы, от которых зависит износ поверхностей.

Скорость износа (мкм/ч) для поверхности 1:

$$v_1 \approx 4 \cdot 10^{-2} \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2.5} r^{0.5}}{\varepsilon_0^t H_1^{1.5} H_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2} n_{o1}, \quad (2)$$

где ε — концентрация абразивных примесей; σ — условно разрушающее напряжение; r — средний размер частиц; ε_0 — относительное удлинение материала при разрыве; t — коэффициент усталости материала при пластических деформациях; HB_1, HB_2 — твердости сопряженных поверхностей по Бринеллю; ρ^* — приведенный радиус кривизны поверхностей; v_1, v_2 — скорости поверхностей 1 и 2; α, β — вероятности закрепления частицы на поверхностях 1 и 2; n_{o1} — число нагружений для поверхности 1.

В проведенном исследовании значение износа для 1 передачи рассчитывалось по формуле (3):

$$h_1 \approx 6.8 \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2.5} r^{0.5}}{\varepsilon_0^t H_1^{1.5} H_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2} \quad (3)$$

Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет износа зубчатых передач

		Маршрут с подъемом	Равнинный маршрут

Концентрация абразива	ε , %	0,0466	0,0291
Средний размер частицы	r , мм	0,03	0,015
Износ за 1 нагружение	h_1 , мкм	8,278e-06	4,3e-06
Скорость износа	v_1 , мкм/ч	0,463386	0,23939

Сравнение износа за одно нагружение для равнинного маршрута и маршрута с подъёмом показано на рис.2.

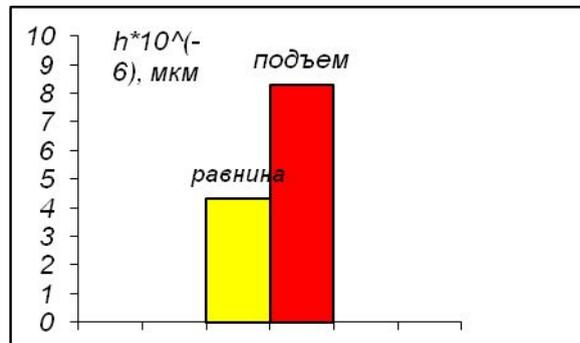


Рис. 2. Сравнение износа за одно нагружение.

Износ и значение скорости износа на маршрутах с подъемами практически в два раза превышают аналогичные показатели при эксплуатации на равнинных маршрутах.

Зависимость скорости износа от концентрации абразивных веществ в масле представлена на рис.3.

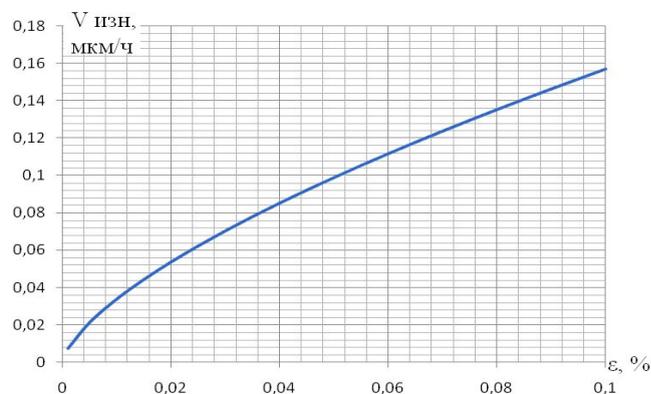


Рис. 3. Зависимость скорости износа от концентрации абразивных веществ.

Результаты расчетов, приведенные в таблице 2, указывают на то, что износ и значение скорости износа на маршрутах с подъемами практически в два раза превышают аналогичные показатели при эксплуатации на равнинных маршрутах [1; 7].

Полученные значения указывают на то, что ресурс коробки передач в таких условиях заметно снижается, поэтому необходимо рассмотреть способы, направленные на повышение ресурса коробок передач городских автобусов на маршрутах с подъемами.

Основными направлениями в разработке способов повышения надежности трансмиссий являются следующие.

1. Совершенствование методики оценки состояния автомобильных трансмиссионных

масел по существующим стандартам с применением современного оборудования, разработкам методики оценки состояния масла.

2. Разработка методики оценки степени износа деталей, основанной на собственной десятибалльной шкале.

3. Разработка методики комплектования пар трения для ремонта агрегатов.

4. Корректирование заводского перечня и периодичности технических воздействий на агрегаты трансмиссии, определение коэффициента корректирования периодичности технических воздействий на элементы трансмиссии при эксплуатации на маршрутах с подъемами, а также разработка критериев его применения и методики использования.

5. Совершенствование конструкции.

1. Методика оценки состояния трансмиссионных масел

Предложенная отрицательная система оценки ухудшения качества и увеличения примесей в масле представляет собой 10-балльную систему показателей M трансмиссии:

$$M_{\text{транс}} = (P_{\text{max n}} - P_0)/10, \quad (4)$$

где $P_{\text{max n}}$ – максимально допустимое количество примесей в отработавшем масле (по результатам анализа) для максимального пробега;

P_0 – количество примесей в свежем масле при его замене (согласно ТУ).

Предлагается определить качество трансмиссионных масел на основании десятибалльной шкалы отрицательной системы оценки по показателям механических примесей.

При этом качество свежего масла будет оцениваться в 0 баллов, а предельно загрязненному отработанному маслу следует давать оценку 10 баллов[3].

Значение концентрации механических примесей, равной 0,5...0,6%, принято в качестве предельной, определяющей износ деталей и степень срабатывания присадок в трансмиссионном масле, тогда отрицательная система оценки качества масла для 10-балльной шкалы составит (0,5%:10) для каждого балла. Для изменения K_m (процентное содержание механических примесей в масле) можно зафиксировать следующую зависимость: при 10 тыс. пробега $K_m \approx 2$ балла; при 20 тыс. ≈ 3 балла; при 40 тыс. ≈ 6 баллов и при 60 тыс. км ≈ 10 баллов. На рис. 4 приведены результаты оценки баллов механических примесей в трансмиссионном масле двух автобусов ПАЗ-32054, один из которых обслуживал равнинный маршрут, а второй – маршрут с подъемами.

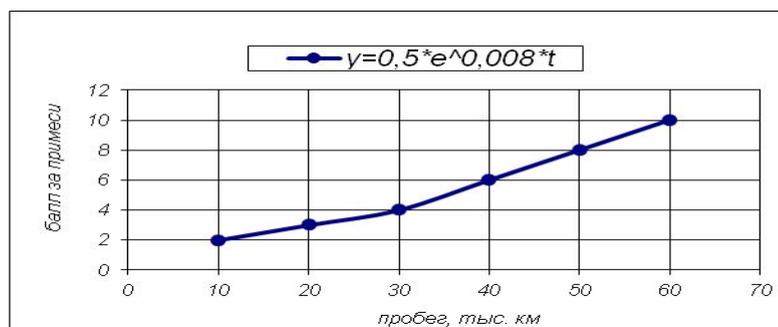


Рис.4а. Баллы механических примесей в трансмиссионном масле ПАЗ-32054 при обслуживании равнинного маршрута.

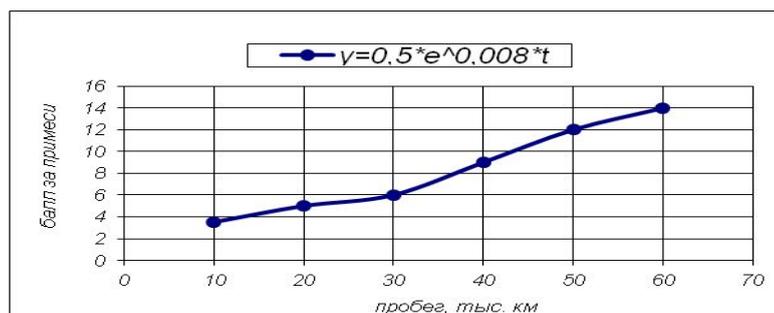


Рис.4б. Баллы механических примесей в трансмиссионном масле ПАЗ-32054 при обслуживании маршрута с подъемами.

Из анализа рис.4 следует, что при проведении соответствующего технического обслуживания, предполагающего замену трансмиссионного масла, отработавшее масло автобусов, эксплуатирующихся на маршрутах с подъемами (рис.4б), будет содержать механических примесей больше на 1,5–2,0 балла по 10-балльной шкале, чем у автобусов, эксплуатирующихся на равнинных маршрутах (рис.4а).

Таким образом, предложенная система позволяет получать количественные характеристики срабатываемости масла и оптимизировать периодичность его замены для данных условий эксплуатации автобусов[7; 8].

2.Методика оценки степени износа деталей

При оценке износов деталей коробок передач, поступающих в ремонт, достаточно сложно оценить характер их износа по количественным показателям[3]. Такая оценка позволила бы устанавливать жесткую графическую зависимость между условиями эксплуатации транспортного средства (например, автобуса ПАЗ), пробегом агрегата и дорожными условиями эксплуатации (лето, зима, осень).

Предлагается отрицательная десятибалльная система оценки степени износа детали, поступающей в ремонт для восстановления исходных свойств.

При этом оценка в 10 баллов дается детали, поступающей в ремонт, но еще пригодной к эксплуатации, что соответствует размеру, принятому ТУ как «годная без ремонта». Так, например, для шейки под шариковый подшипник первичного вала коробки передач ПАЗ-32054 производства завода коробок скоростей ОАО «ГАЗ» минимальный диаметр

шейки детали 52-1701030 (первичный вал коробки передач) для стали 35Х С = 0,32...0,37% по ГОСТ 4343-87 при твердости шейки не менее HRC 60, имеет величину: $45 \pm 0,008$. Износ шейки в 1 балл составляет:

$$J' = \frac{D_0 - D_{\text{доп}}}{10} = \frac{45 - 0,008 - 44,97}{10} = \frac{0,022}{10} = 0,002 \text{ мм} \quad (5)$$

где D_0 – номинальный диаметр ($\varnothing = 45 \pm 0,008$); $D_{\text{доп}}$ – допустимый диаметр без ремонта ($\varnothing = 44,97$); $J'/10$ – показатель износа в 1 балл по отрицательной системе оценки износа и состояния детали.

Для оценки питтингового, то есть точечного износа, оценка в 10 баллов дается для 100% повреждения поверхности шейки.

Износ в 1 балл соответствует 10% повреждений поверхности шейки.

Аналогично оценивается износ шестерен при помощи калибров с двумя или более роликами, а также износы зубьев шестерни постоянного зацепления по толщине, измеренные при помощи штангензубомера.

На рис.5 приведены результаты оценки износа шейки первичного вала коробок передач двух автобусов ПАЗ-32054, один из которых обслуживал равнинный маршрут, а второй – маршрут с подъемами. Замеры проводились каждые 12800 км пробега, при проведении работ ТО-2.

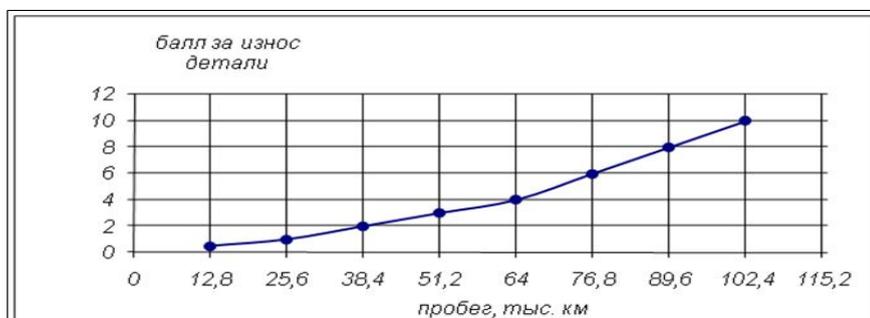


Рис.5а. Баллы за износ шейки первичного вала КП ПАЗ-32054 при обслуживании равнинного маршрута.

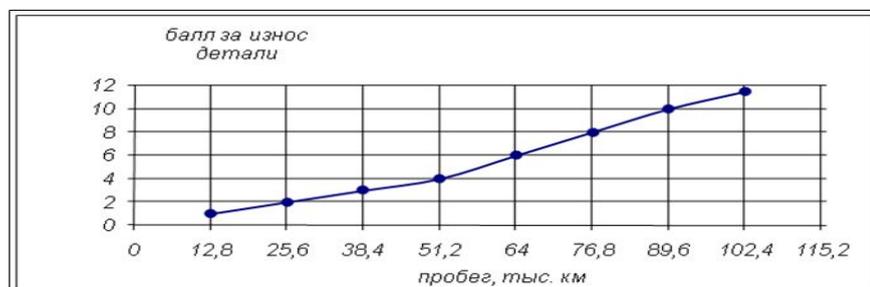


Рис.5б. Баллы за износ шейки первичного вала КП ПАЗ-32054 при обслуживании маршрута с подъемами.

Из анализа рис.5 следует, что при проведении технического обслуживания, согласно

регламенту завода-изготовителя, износ деталей коробок передач автобусов, эксплуатирующихся на маршрутах с подъемами (рис. 5б), происходит интенсивнее, чем у автобусов, эксплуатирующихся на равнинных маршрутах (рис. 5а). Согласно 10–балльной шкале износ деталей на 1,0–2,0 балла больше при эксплуатации автобусов на маршрутах с подъемами, чем у автобусов, обслуживающих равнинный маршрут [7].

Предлагаемая количественная оценка позволяет устанавливать числовые зависимости между условиями эксплуатации автомобиля и износом деталей.

3. Методика комплектования пар трения для ремонта агрегатов

В технических условиях на ремонт деталей трансмиссии автобусов ПАЗ-32054 для картеров механических коробок передач (дет. 52-1701015), изготовленных из чугуна СЧ-24-44, ГОСТ 1412-82, твердостью НВ 170-229, указан номинальный размер отверстия под подшипник ведущего вала:

$85^{+0,009}_{-0,026}$ при допустимом размере по увеличению диаметра 85,040 мм.

При этом предельный износ:

$$J_{пред} = D_{доп} - D_0, \quad (6)$$

где D_0 – номинальный размер отверстия; $D_{доп}$ – размер отверстия, допустимый без ремонта.

Таким образом, наибольшие значения диаметра отверстия новой детали составляют $(D_0 + d_{допуска})$, где $(+ d_{допуска})$ – это допустимое отклонение размера с положительным знаком.

Наименьшие значения номинального размера новой детали составит: $(D_0 - d_{допуска})$, где $(- d_{допуска})$ – это допустимое отклонение размера с отрицательным знаком.

Ширина поля допуска равна $+d/+d/-d/-d$, где $+d$ и $-d$ абсолютные значения допусков.

Суммарное поле допуска для новой детали равно 0,035 мм при величине предельного износа от номинала $D_{ном} = 85^{+0,000}_{-0,000}$ для размера допустимого без ремонта 85,040.

Таким образом, ширина суммарного поля допуска имеет величину 0,035 при минимальном допустимом износе $0,04 - 0,009 = 0,031$ мм. Это сопоставимо с шириной поля допуска для новой детали [2].

На основании изложенного поле допуска для отверстия под шариковый подшипник ведущего вала следует разделить на пять групп (А, Б, В, Г, Д), где каждая группа для комплектования деталей будет иметь допуск (0,035:5), равный $\approx 0,007$ мм. Сортировку деталей на группы следует производить при помощи калибровочных пробок с последующей цветовой маркировкой групп деталей краской (красная, белая, зеленая, синяя, черная) силами служб ОТК перед сборкой.

4. Корректирование периодичности обслуживания

Вычисление оптимальных периодичностей проведения работ осуществлялись с использованием известного метода – по допустимому уровню безопасности [3; 9]. По результатам исследований периодичность замены трансмиссионного масла автобуса ПАЗ-32054 получена равной 35065 км, что не является кратным с периодичностью ТО-1. Однако если принять периодичность замены равной 35200 км, то кратность с ТО-1 соблюдается. Расчетная периодичность замены трансмиссионного масла микроавтобусов ГАЗ-322132 получена равной 41500 км. Для получения кратности с ТО-1 необходимо скорректировать периодичность замены до 40000 км. Это обоснованно, так как скорректированная периодичность данного технического воздействия не выходит за границы допустимого вероятности отказов (риска) $F_d = 10\%$.

Ключевым вопросом является определение коэффициента, характеризующего влияние подъемов на маршруте на состояние трансмиссионного масла.

Найденный коэффициент будет учитывать зависимость, общую для расчета периодичности замены трансмиссионного масла, поэтому станет возможным ввести данный коэффициент во все формулы корректирования периодичности замены масла в трансмиссии, что значительно снизит затраты на определение оптимальных значений периодичностей.

Рассчитанный далее коэффициент будет иметь очень широкое применение при корректировании периодичности обслуживания трансмиссии в зависимости от наличия на маршруте подъемов и от их числа.

Для расчета необходимого коэффициента необходимо знать: количество подъемов на маршруте и величину угла подъема, которую можно определить, зная высоту подъема (h), и продолжительность подъема (L).

Определяющими величинами являются высота и длина подъема. Но так как на маршруте может быть не один подъем, а несколько, то необходимо учитывать их суммарное влияние. Также необходимо принять во внимание, что автобусы за рабочий день делают несколько рейсов, поэтому необходимо учесть и их количество.

Таким образом, формула для расчета необходимого коэффициента будет иметь вид:

$$K_{\text{подъема}} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{L_i} N, \quad (7)$$

h_i – высота подъема i ; L_i – длина подъема i ; N – количество рейсов.

Критериями введения предложенного коэффициента являются:

- наличие на маршруте подъема величиной 7% и более;
- время нахождения автобуса на подъеме, которое должно быть не менее 3 минут.

Для расчета коэффициента необходимо пользоваться картой маршрута, где указаны

все значения перепадов высот и длин преодолеваемых участков.

Например, на одном из исследованных нами маршрутов (маршрут Т-34) присутствует два значительных подъема: первый - Зеленский съезд, протяженностью 1071 м и с перепадом высот 75 м; второй - Ракатное шоссе, протяженностью 1552 м и с высотой подъема – 63 м.

Таким образом, для автобуса ПАЗ-32054, обслуживающего этот маршрут, коэффициент, учитывающий наличие подъема, будет рассчитан следующим образом:

$$K_{\text{подъема}} = \left(\frac{75}{1071} + \frac{63}{1552} \right) * 8 = 0,9 \quad (8)$$

При этом периодичность замены масла в трансмиссии составит:

$$38\,400 * 0,9 = 34\,560. \quad (9)$$

Однако в целях оптимизации рабочего времени необходимо соблюдать кратность с периодичностью ТО-1. Поэтому принимаем периодичность замены равной 35200 км.

Соответствие полученного значения рассчитанному по допустимому уровню безотказности подтверждает верность формулы расчета предложенного коэффициента.

Аналогичные исследования и расчеты были проведены и для других маршрутов с подъемами в г.Нижний Новгород: полученные значения также совпали с расчетами по допустимому уровню безотказности.

В этой связи для городских автобусов общего пользования необходимо введение вышеуказанных мер при наличии на маршруте хотя бы одного подъема за рабочую смену. Указанное в диссертации повышение нагрузок коробки наступает при преодолении номинально загруженным автобусом подъема величиной 7% и более. Контрольным критерием введения предложенных мероприятий является время нахождения автобуса на подъеме, которое должно быть не менее 3 минут[1]. При этом стало возможным корректирование периодичности замены трансмиссионного масла с использованием предложенного коэффициента $K_{\text{подъема}}$.

Данные критерии действуют для автобусов с бензиновыми двигателями и механическими коробками передач. Скорость движения автобусов при этом ограничивается сверху мощностными характеристиками двигателей, по опыту, на уклоне 7% не превышает 30 км/час и должна быть максимально возможной для того, чтобы автобус не отклонился от временного графика движения на маршруте.

5. Совершенствование конструкции

Анализ проб трансмиссионного масла показал, что на автобусах ПАЗ-4234 с коробкой передач СААЗ-3206 эффект от влияния подъемов на состояние трансмиссионного масла тот же, но в меньшей степени. Также на этих автобусах было зарегистрировано большее

количество отказов картеров коробок передач (рис.7).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что повышенный износ зубчатых передач имеет причинно-следственный характер, возникающий из-за нарушения соосности валов, что, в свою очередь, является следствием недостаточной жесткости картера.

Основными дефектами картеров коробок передач являются: износ посадочных поверхностей гнёзд под подшипники качения; износ отверстий под оси шестерни заднего хода; износ или срыв резьбы в отверстиях; трещины.

С целью повышения долговечности и надежности данного элемента конструкции выполнен анализ напряженно-деформированного состояния картера коробки передач в процессе эксплуатации автомобиля:

5.1. для проведения прочностного расчета картера коробки передач была построена конечно-элементная модель объемом в 492 437 элементов второго порядка. Основной используемый элемент - тетраэдр второго порядка, который имеет 10 точек интегрирования. Исследования выполнены с использованием известных методик [3; 4].

5.2. для получения значений и определения направлений радиальных усилий на отверстия под подшипники вторичного, промежуточного валов и на ось блока шестерён заднего хода использовались значения и направления равнодействующих сил, возникающих от зацепления зубчатых колес. Радиальные усилия в отверстиях гнезд подшипников распределяются через контактную поверхность с наружным кольцом опорвалов;

5.3. рассмотрены два наиболее нагруженных случая для картера коробки передач: движение на первой передаче, движение на передаче заднего хода;

5.4. конструкция картера коробки передач принималась удовлетворительной для использования в условиях переходных процессов, если коэффициент запаса $n > 2,5$.

В результате анализа проведенных расчетов сделан следующий вывод: высокие напряжения и деформации в рассматриваемой зоне говорят о недостаточной жесткости картера для приведенных нагрузок, что может привести к появлению различного рода трещин, деформаций (рис.6).



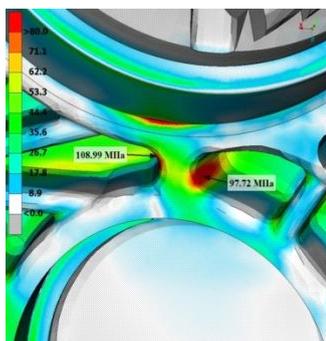


Рис.6.Валидация результатов.

Нарушения в виде деформаций картера в свою очередь приводят к износу отверстий под подшипники, несоосности валов, а, следовательно, и к повышенному износу зубчатых соединений коробки передач.

Предложено введение дополнительного ребра жесткости (рис.7) и увеличение радиуса сопряжений в зоне между подшипниками вторичного и промежуточного валов коробки передач, что позволит снизить максимальные напряжения в рассматриваемой зоне на 35,04% в режиме заднего хода и на 27,91% на первой передаче.

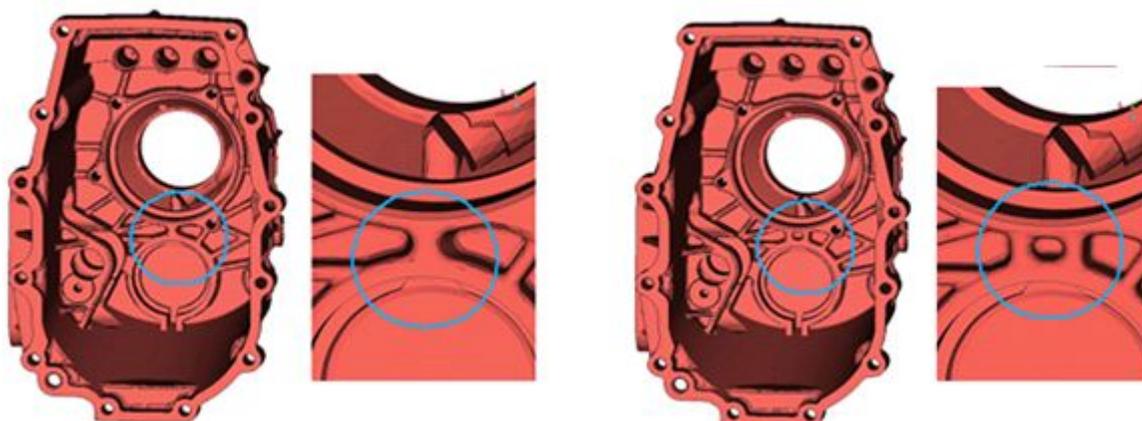


Рис.7. Изменение конструкции картера.

Выводы

Рельеф местности, а в особенности наличие крутых подъемов, на маршрутах эксплуатации автобусов оказывает существенное влияние на снижение надежности их трансмиссии. Предложенные эксплуатационные и конструкционные мероприятия позволяют снизить количество отказов на 10-30%, что подтверждено подконтрольной эксплуатацией

городских автобусов ПАЗ ГП НО «Нижегородпассажиравтотранс».

Список литературы

1. Корчажкин М.Г., Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2012. - № 4 (97). - С.168-174.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.- 526с.
3. Кузьмин Н.А. Разработка научных основ обеспечения работоспособности теплонагруженных деталей автомобильных двигателей: дис....докт. тех. наук / Нижегородский государственный технический университет. - Нижний Новгород, 2006.
4. Кузьмин Н.А. Профилирование головок поршней ДВС // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2006. - № 12.- С.41.
5. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учебное пособие. – М.: ФОРУМ, 2011.- 208с.
6. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов// Автотранспортное предприятие. - 2013. - № 8.- С.39-42.
7. 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.
8. Кустиков А.Д., Кузьмин Н.А., Корчажкин М.Г. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2013. - №4.- С.18-26.
9. Турсунов А.А. Экспериментальная оценка приспособленности АТС к горным условиям эксплуатации // Актуальные проблемы современной науки. – 2002. - №2.- С. 322-324.

Рецензенты:

Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» (СДМ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г.Нижний Новгород;

Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г.Нижний Новгород.