

УДК 621.113

М.Г. Корчажкин¹, С.С. Соловьев²**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО «Автоматик плюс»²

Все большее количество автомобилей оснащается автоматическими трансмиссиями. Это приводит к усложнению конструкции автомобиля. В связи с широким распространением автоматических трансмиссий различных типов все более актуальным становится вопрос их эксплуатационной надежности. Среди современных автоматических коробок передач различают три основных типа: гидромеханическая автоматическая коробка передач планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач. У каждого типа автоматических трансмиссий существуют преимущества и недостатки, сказывающиеся на их эксплуатационной надежности. Для анализа надежности трансмиссий были собраны данные об отказах автоматических трансмиссий разных типов легковых автомобилей. Из собранных данных были сформированы выборки информации об отказах по каждому типу автоматических трансмиссий. Выборки были обработаны, определены статистические показатели и построены модели надежности по каждому типу автоматических трансмиссий. Получены значения средних наработок до отказа.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, техническая эксплуатация автомобилей, отказ, трансмиссия, гидромеханическая коробка передач, вариатор, роботизированная трансмиссия.

подавляющее большинство новых автомобилей разных марок комплектуются коробкой автомат. Современный автомобиль стал настолько сложным, а автоматические коробки передач настолько распространенными, что они являются самым популярным, или даже базовым вариантом трансмиссии на многих моделях автомобилей, как легковых, так и грузовых. В связи с широким распространением автоматических трансмиссий различных типов, все более актуальным становится вопрос их эксплуатационной надежности [3].

Автоматическая коробка передач (АКП) предполагает возможности двигателя и выбирает передачу в зависимости от комплекса исходных данных (частоты оборотов коленчатого вала, скорости движения, положения дроссельной заслонки и т.д.) для поддержания лучшего приложения движущей силы. Действия, обычно выполняемые сцеплением и механической коробкой передач (МКП), выполняются автоматически, с помощью гидротрансформатора, который позволяет очень небольшие, управляемые проскальзывания между мотором и трансмиссией автомобиля. Гидравлические клапаны контролируют включение различных передач по требованию водителя (положение педали газа), или оперируя предустановленными ответами на текущие условия работы двигателя и скорость движения автомобиля.

Среди современных АКП различают три основных типа: гидромеханическая АКП планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач (КП). У каждого типа автоматических трансмиссий существуют преимущества и недостатки, сказывающиеся на их эксплуатационной надежности. Однозначного ответа на вопрос, какой тип автоматической трансмиссии надежней, нет. Однако в настоящее время накапливается достаточное количество информации об отказах подобных трансмиссий, на основании которой можно определить статистические показатели надежности [4].

Гидромеханическая АКП планетарного типа состоит из следующих основных узлов: гидротрансформатора, планетарного ряда, системы управления и контроля. Коробка переднеприводных автомобилей дополнительно содержит внутри корпуса главную передачу и дифференциал.

Отсутствие жесткой связи в гидротрансформаторе имеет свои достоинства и недостатки. Плюсы: крутящий момент изменяется плавно и бесступенчато, демпфируются кру-

тильные колебания и рывки, передаваемые от двигателя к трансмиссии. Минусы – низкий КПД, так как часть энергии теряется при перемешивании масла и расходуется на привод насоса АКП, что, в конечном итоге, приводит к увеличению расхода топлива. Для устранения этого недостатка в гидротрансформаторе применяется режим блокировки. При установленном режиме движения на высших передачах автоматически включается механическая блокировка колес гидротрансформатора, то есть он начинает выполнять функцию обычного «сухого» сцепления. При этом обеспечивается жесткая непосредственная связь двигателя с ведущими колесами, как в механической трансмиссии. На некоторых АКП включение режима блокировки предусмотрено и на низших передачах. Движение с блокировкой является наиболее экономичным режимом работы АКП. При повышении нагрузки на ведущих колесах блокировка автоматически выключается. При работе гидротрансформатора происходит значительный нагрев рабочей жидкости, поэтому в конструкции АКП предусматривается система охлаждения с радиатором, который или встраивается в радиатор двигателя, или устанавливается отдельно.

Планетарная передача представляет собой механическую систему, состоящую из нескольких шестерён – сателлитов, вращающихся вокруг центральной шестерни. Переключение передач осуществляется системой управления, которая на ранних моделях была полностью гидравлической, а на современных на помощь гидравлике пришла электроника.

Особенностью вариатора является то, что количество возможных режимов при движении автомобиля бесконечно велико. Поэтому оптимальную работу двигателя можно обеспечить, если бесконечным будет и количество ступеней в коробке передач. Вариатор – единственный из существующих на сегодняшний день видов КП позволяет бесступенчато изменять передаточное отношение между двигателем и трансмиссией. А это значит, что для каждого режима работы автомобиля (т.е. скорости и сопротивления движению) удастся подобрать наиболее эффективное значение передаточного отношения, а не усредненное, как в любой другой коробке передач. Следствием постоянной работы двигателя в зоне оптимальных оборотов является высокая экономичность, снижение токсичности выхлопных газов и лучшая динамика разгона автомобилей с вариаторами. А так как передаточное отношение изменяется плавно, а не ступенчато, то такие автомобили отличаются и плавностью хода. Отсутствие рывков при переключениях увеличивает срок службы узлов трансмиссии. Вариаторы имеют небольшой вес, простую конструкцию (по сравнению с гидромеханической АКП) и достаточно надежны.

Главный недостаток вариаторов состоит в том, что они фрикционные (работают за счет трения, а не зубчатого зацепления), и поэтому могут передавать ограниченный крутящий момент, при превышении которого рабочие поверхности начинают проскальзывать и интенсивно изнашиваться. А это означает, что их нельзя использовать в паре с мощными двигателями. Долговременная работа в режиме максимальных нагрузок, что приводит к его быстрому износу.

Роботизированная КП является промежуточным звеном между АКП и МКП. В простейшем случае роботизированная коробка представляет собой обыкновенную МКП, управляемую электронным блоком управления при помощи сервоприводов. Сцепление управляется той же автоматикой. Это придает МКП свойства АКП, однако переключения передач, как и в обычной МКП, занимает некоторое время. Это приводит к замедлению разгона и создаёт характерные для МКП «рывки» при переключении передач. Развитие технологий позволяет значительно ускорить переключение передач в КП и свести рывки к минимуму. При этом роботизированная коробка перестает быть обычной МКП, управляемой электроникой и приводами, а проектируется особым образом. Самые лучшие роботизированные МКП от Ferrari позволяют переключать передачи с задержкой не более 60 мс, а МКП DSG (Direct Shift Gearbox – МКП с прямым переключением передач), устанавливаемая на автомобили концерна Volkswagen, может включать некоторые передачи за 8 мс. В настоящее время Volkswagen Golf, оснащённый 7-ступенчатой коробкой передач DSG, расходует примерно на 20 % топлива меньше, чем оснащённый обычной механикой. Значительно улучшились за последнее время системы смазки роботизированных КП. Современные механические коробки передач

зачастую имеют систему смазки под давлением, иногда – объединённую с системой смазки двигателя. Это позволяет значительно повысить ресурс КП по сравнению с традиционной системой смазки за счёт находящегося в картере масла, обеспечить хорошее охлаждение (что стало насущной проблемой в связи с увеличением скоростей движения) за счёт постоянного круговорота смазывающего масла.

Основной проблемой роботизированных КП стала высокая сложность механизмов управления, а также двойного сцепления коробок DSG и, как следствие, их относительно низкая эксплуатационная надёжность. Кроме того, необходимо отметить низкую ремонтпригодность трансмиссий DSG, где в случае отказа заменяются элементы или коробка передач целиком.

Таким образом, учитывая технические особенности и конструктивную сложность различных типов автоматических трансмиссий автомобилей, одним из важнейших вопросов их технической эксплуатации становится надёжность [3]. Для анализа надёжности трансмиссий были собраны данные об отказах автоматических трансмиссий разных типов легковых автомобилей из ООО «Автоматик плюс», которое специализируется на ремонте автоматических трансмиссий всех марок автомобилей.

Все процессы, происходящие в сопряжениях механизмов, в машинах (автомобиле), носят случайный характер. Это связано с тем, что внешние условия, в которых работают машины (температура, динамические нагрузки и т.д.), изменяются случайным образом, а для автомобиля неровности на поверхности дороги, по которой движется автомобиль, чередуются случайным образом, случайным образом повторяются помехи на пути движения [4]. Кроме того, прочностные характеристики самого материала, из которого изготовлены детали машины (предел прочности, текучести, твердости и т.д.) не являются постоянными величинами, а изменяются случайным образом. Таким образом, при исследовании любого процесса на автомобиле мы имеем дело со случайными величинами, процессами [1].

При анализе случайных процессов с увеличением числа опытов точность результатов испытаний увеличивается, и в пределе, когда число опытов стремится к бесконечности, параметры опытных данных совпадают с истинными параметрами изучаемого процесса. Но с увеличением объёма испытаний возрастают материальные, трудовые затраты и продолжительность испытаний. В связи с этим необходимо определить минимальный объём испытаний, задаваясь допустимой для практики ошибкой результатов испытаний.

Для получения объективной информации об эксплуатационной надёжности необходимо построить статистическую модель исследуемого узла или агрегата [1]. Для обработки были сформированы выборки информации об отказах по каждому типу автоматической трансмиссии: гидромеханическая АКП планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач (КП). Выборки формировались на основании первичных документов ООО «Автоматик плюс», отражающих обращения владельцев автомобилей с отказами АКП различных типов. Особенностью первичной информации явилось то, что она была собрана непосредственно из эксплуатации. Это обусловило использование метода наибольшего правдоподобия при получении результатов статистической обработки. Информация собиралась в течение 14 месяцев. Обработка информации об отказах производилась с использованием методов математической статистики [1] и проверки по критерию Пирсона.

Собранная информация об отказах гидромеханических АКП была обработана и получены следующие результаты: объём выборки – 80; число интервалов – 5; шаг интервала – 82,8 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 36 тыс.км; максимальное значение случайной величины – 450 тыс.км; выборочное среднее – 148,815 тыс.км; выборочная дисперсия – 5783,545 тыс.км; среднее квадратическое отклонение – 76,05 тыс.км; коэффициент вариации – 0.51.

По итогам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов гидромеханических АКП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов по наработке (рис. 1), определен закон распределения и проведена проверка по теоретическому значению критерия Пирсона.

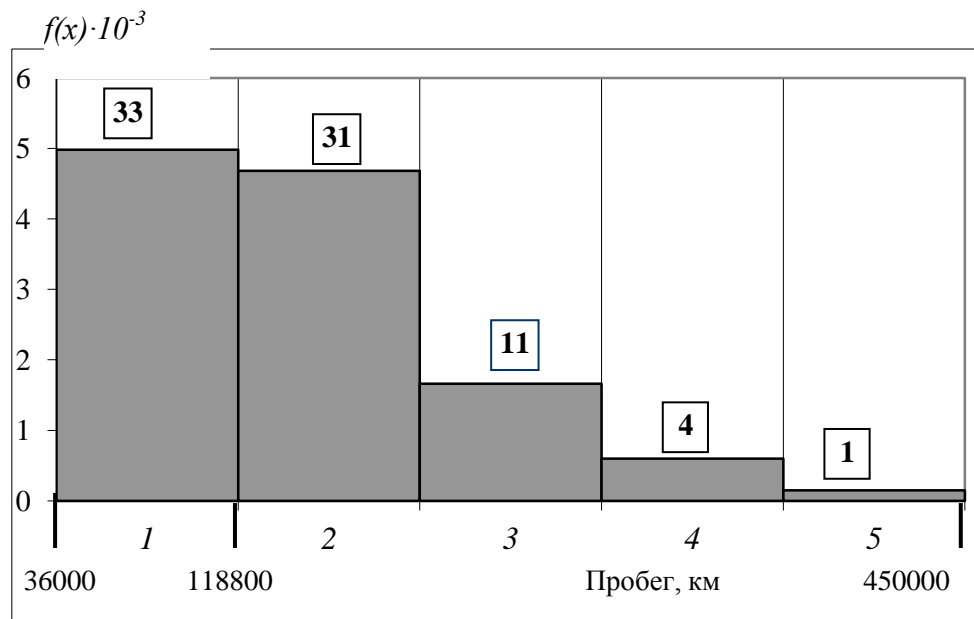


Рис. 1. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов гидромеханических АКП

В результате получено, что отказы гидромеханических АКП подчиняются логарифмически нормальному распределению, описываемому выражением:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot 190,63} \cdot \exp \left[-\frac{(\ln x - 148,815)^2}{11567,205} \right].$$

На следующем этапе была обработана собранная информация об отказах вариаторных АКП и получены следующие результаты: объем выборки – 52; число интервалов – 5; шаг интервала – 41,4 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 46 тыс.км; максимальное значение случайной величины – 253 тыс.км; выборочное среднее – 144,723 тыс.км; выборочная дисперсия – 2020,749 тыс.км; среднее квадратическое отклонение – 44,95 тыс.км; коэффициент вариации – 0.31; параметр масштаба – 160,358; параметр формы – 3,6.

По результатам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов гидромеханических АКП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов по наработке (рис. 2), определен закон распределения.

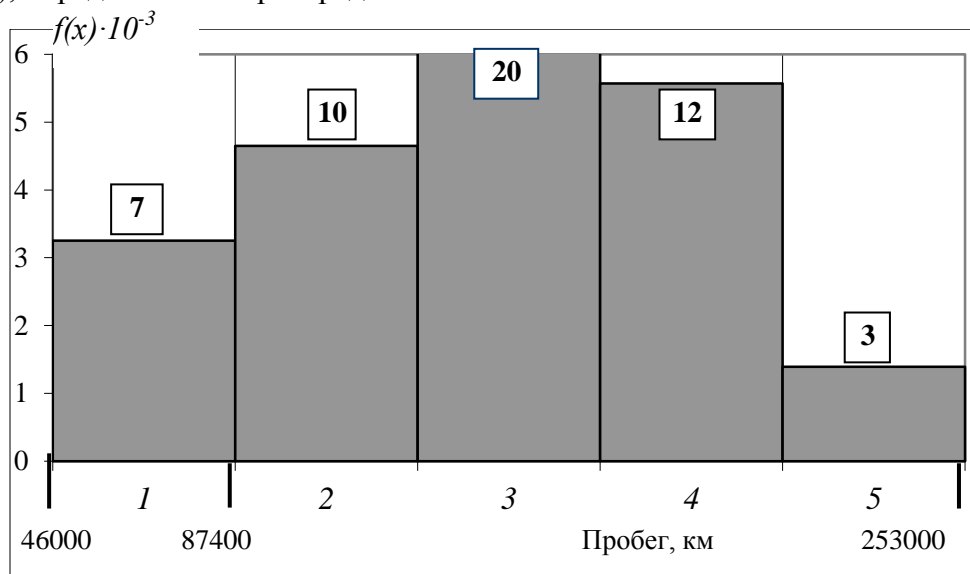


Рис. 2. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов вариаторных АКП

В результате получено, что отказы вариаторов подчиняются закону распределения случайных величин Вейбулла, описываемому выражением:

$$f(x) = 0,023 \cdot \left(\frac{x}{160,358}\right)^{2,6} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{160,358}\right)^{3,6}\right].$$

Далее была обработана собранная информация об отказах роботизированных КП и получены следующие результаты: объем выборки – 63; число интервалов – 5; шаг интервала – 56,8 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 16 тыс.км; максимальное значение случайной величины - 290 тыс.км; выборочное среднее - 108,330 тыс.км; выборочная дисперсия - 3852,161 тыс.км²; среднее квадратическое отклонение - 61,255 тыс.км; коэффициент вариации – 0,565; параметр масштаба - 121,97; параметр формы – 1,85.

По результатам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов роботизированных КП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов (рис. 3).

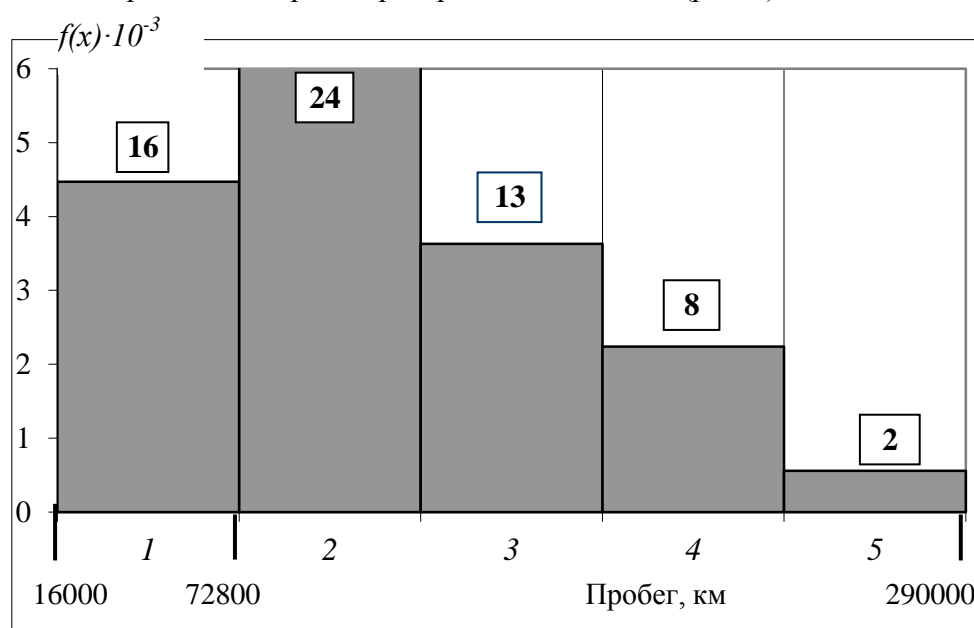


Рис. 3. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов роботизированных КП

В результате получено, что отказы вариаторов подчиняются закону распределения случайных величин Вейбулла, описываемому выражением:

$$f(x) = 0,015 \cdot \left(\frac{x}{121,97}\right)^{0,85} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{121,97}\right)^{1,85}\right].$$

Таким образом, построены статистические модели распределения отказов автоматических трансмиссий автомобилей разных типов. Определены основные показатели надежности. Анализ результатов исследования показывает, что наименьшее значение средней наработки до отказа получено у роботизированных КП. Это связано с лимитированной надежностью отдельных элементов, и прежде всего, механизма двойного сцепления с сухим картером и механизмов управляющего блока КП. Основной проблемой надежности гидромеханических АКП и вариаторов, несмотря на относительно высокую наработку до отказа, является нарушение или несоблюдение норм и правил эксплуатации. Однако отказы возникают даже при соблюдении всех рекомендаций, предписанных производителем. Прежде всего, это происходит из-за отсутствия в списке регламентных работ операций по замене масла [2] в гидромеханических АКП и вариаторах ряда производителей. Также зачастую периодичность замены не соответствует условиям эксплуатации. Все это указывает на необходимость опре-

деления оптимальной периодичности технического обслуживания [5] каждого вида автоматических трансмиссий, разработки рекомендаций по замене трансмиссионных масел. Решение этой задачи возможно на основании полученных статистических моделей надежности и предполагается реализовать в ходе последующих исследований.

Библиографический список

1. **Кузьмин, Н.А.** Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин; НГТУ. – Н.Новгород, 2012. – 270 с.
2. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин – М.: Высшее образование, 2011. – 224 с.
3. **Басков, В. Н.** Эксплуатационные факторы и надежность автомобиля: монография / В. Н. Басков, А. С. Денисов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т., 2003. – 269 с.
4. **Кузьмин, Н.А.** Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Автотранспортное предприятие. 2012. №8. С. 39–42.
5. **Корчажкин, М.Г.** Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов / М.Г. Корчажкин, Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. № 4. С. 168–174.

*Дата поступления
в редакцию 17.10.2013*

M.G. Korchazhkin¹, S.S. Soloviev²

FEATURES OF OPERATIONAL RELIABILITY OF AUTOMOBILE AUTOMATIC TRANSMISSIONS

Nizhny Novgorod state technical university named after R.Y. Alekseev¹,
LLC Automatic plus²

Purpose: Definition of indicators of operational reliability of automobile automatic transmissions.

Design/methodology/approach: Researches are lead with use of methods of the statistical analysis and mathematical modeling.

Findings: Information on refusals of automatic transmissions in operation is collected. Statistical models of reliability of various transmissions are constructed/

Research limitations/implications: Indicators are defined and models of reliability of each type of automatic transmissions are constructed.

Originality/value: The constructed models of reliability allow to define optimum frequency of service of each type of automatic transmissions.

Key words: operational reliability, technical operation of cars, failure, transmission, hydromechanical gearbox, variator, robotized transmission.