

УДК 629.331.017: 681.518.5 (083.72)

# Оценка эксплуатационной надежности современных автомобилей

Exploitation valuation of reliability of modern cars.

Сосновский С.А., Савич Е.Л. кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей» БНТУ

**Анотация.** В работе предложен алгоритм определения эксплуатационной надежности в условиях интенсивного совершенствования конструкций автомобиля.

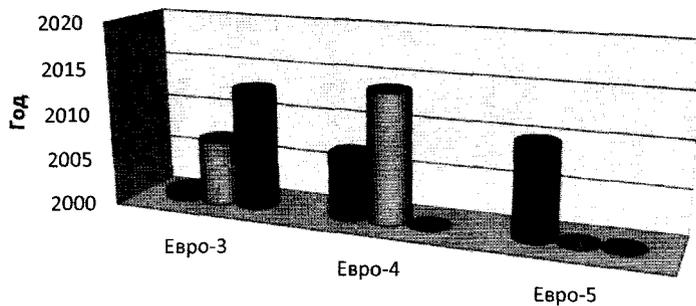
**Abstract.** In this work it is offered the algorithm for definition of exploitation reliability according to the conditions of intensive improvement of car construction.

## Введение

Ужесточение экологических норм, требований по активной безопасности, предъявляемые

к автотранспортным средствам, ставит перед современным автостроением глобальную проблему – создание транспортных средств будущего [1]. Одним из ведущих направлений конструкторских разработок для решения вышеназванной проблемы является внедрение в существующие агрегаты и механизмы автомобиля электронных систем управления (ЭСУ): электронные системы управления двигателем, системы курсовой устойчивости автомобиля и т.д. По экспертным оценкам средневзвешенный удельный вес электронных систем в выпускаемых предприятиями Республики Беларусь

мобильных машинах или автомобилях составляет около 8% [2]. Управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» ОАО «МАЗ», которая является ведущим автомобильным производителем в Республике Беларусь, проводит работы по разработке автомобилей, которые соответствуют современным требованиям. С 2003 по 2008 годы осуществлялась программа модернизации предприятия с целью перехода на массовый выпуск автомобилей шестого поколения. Периоды между выпуском первых образцов, серийным производством и прекращением серийного производства автомобилей МАЗ новых экологических уровней и имеющие отличные по составу и принципу действия ЭСУ двигателем кратковременны рисунок 1. Опыт использования и обслуживания автомобилей [3] свидетельствует о настороженности эксплуатирующих организаций к во-



	Евро-3	Евро-4	Евро-5
■ Опытный образец	2001	2007	2010
■ Начало серийного производства	2007	2014	0
■ Окончание серийного производства	2013	0	0

Рисунок 1. Периоды между разработкой и окончанием серийного производства автомобилей МАЗ, различных экологических уровней

Объекты испытаний

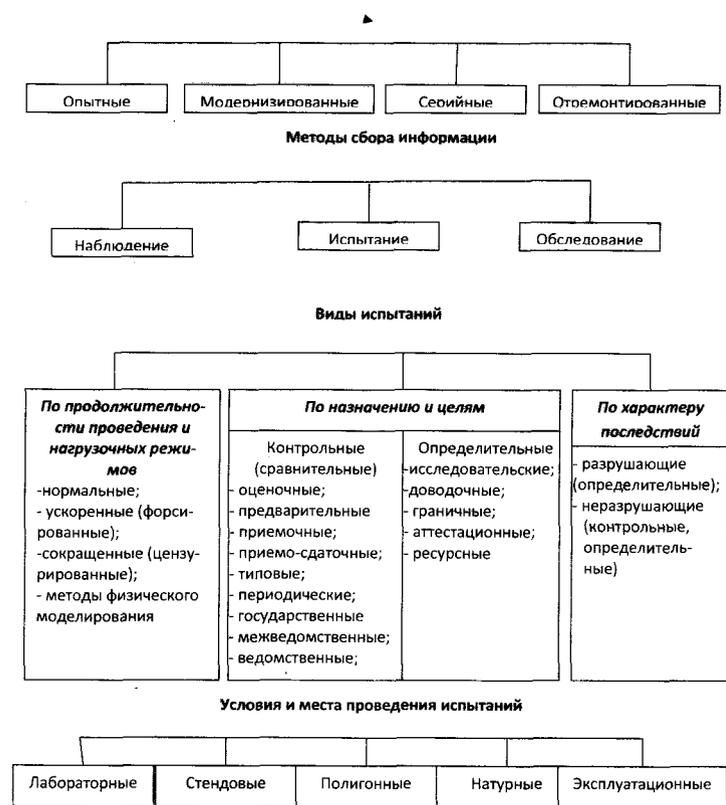


Рисунок 2. Классификация испытаний машин

просам надежности ЭСУ. ЭСУ гораздо надежнее остальных систем автомобиля [3], однако анализ публикаций [4] свидетельствует о том, что круг этих вопросов исследован недостаточно. Специальных исследований по оценке уровня эксплуатационной надежности автомобилей, оборудованных ЭСУ, затрат на их ТО и ремонт в ускоренные сроки внедрения таких систем в конструкцию автомобиля не было [3]. Об этом свидетельствуют и научно-исследовательские работы, проводимые в РБ по исследованию надежности автомобилей МАЗ [5], которые направлены в основном на исследование надежности механических составляющих автомобиля. Кроме этого автомобили МАЗ не идентичны, на двух машинах одной и той же модели могут стоять различные ЭСУ, что очень затрудняет ремонт, делает его длительным. Одной из проблем обеспечения эксплуатационной надежности [6] является низкий аналитический уровень исследований надежности автомобилей МАЗ со стороны завода изготовителя.

В современных научных исследованиях [3,7,8] обосновывается, что разработанные ранее подходы к обеспечению эксплуатационной надежности автотранспортных средств, оборудованных ЭСУ, требуют пересмотра и нового осмысления. В данной статье решение задачи совершенствования систем обеспечения эксплуатационной надежности будет ограничено рассмотрением вопросов планирования и выбора метода сбора информации о надежности автотранспортных средств МАЗ, оборудованных ЭСУ.

**Основная часть**

В науке о надежности машин можно выделить два самостоятельных направления – техническую и эксплуатационную надежность [9]. Первое направление служит исходной базой для расчета параметров работоспособности машин на стадиях проектирования и изготовления. Основной задачей второго направления является разработка и обоснования комплекса мероприятий по обеспечению надежности машин при их использовании. Оно включает в себя прогнозирование и оперативное управление техническим состоянием, обоснованием объемов и периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий, стратегию профилактических замен, расчет потребности в запасных частях и др. [9].

Оба этих направления основываются на оценке надежности автотранспортных средств на каждой стадии жизненного цикла (проектирование, производство и эксплуатация) по результатам проведения испытаний рисунок 2 [10].

Попытки применить существующую многоступенчатую систему испытания с применением полного перечня методов сбора информации, видов испытаний, условий и мест проведения не позволит, по мнению авторов статьи, достигнуть необходимого эффекта для обеспечения работоспособности автомобиля при эксплуатации, оборудованных ЭСУ, в современных условиях. Этапы проведения всего комплекса испытаний, выявление конструктивных и технологических недостатков ЭСУ, недостатков в организации ремонта и эксплуатации, разработка предложений по совершенствованию существующих систем обеспечения надежности ЭСУ, опробования новых систем будут занимать длительный период. Результат не будет актуален – на момент создания системы обеспечения надежности массово будут эксплуатироваться автомобили более «новых технологий». Авторами предлагается сократить перечень необходимых и обязательных, согласно нормативно-техническим документам, испытаний с разработкой наиболее рационального алгоритма для оценки показателей эксплуатационной надежности.

Предлагаемый алгоритм оценки показателей эксплуатационной надежности ЭСУ в условиях сжатых временных показателей состоит из следующих этапов:

**1 этап:** использование расчетных методов на основании рекламаций от потребителей техники не только по исследуемым моделям, но и моделям аналогам, на которых установлены идентичные ЭСУ, для примера: исследуется эксплуатационная надежность электронной системы управления подачей топлива типа MS6/ Stufe2 автомобиля MAZ-256170, на котором

установлен двигатель Deutz BF4M 1013 FC. При этом используются дополнительно данные по рекламациям автомобиля MAZ-256170 и автомобилей: MAZ-171075, MAZ-256070, MAZ-256270, MAZ-437030, MAZ-437130 с такой же ЭСУ. Для оценки эксплуатационной надежности применяются только показатели безотказности [11] так, как из рекламационных данных сервисного центра MAZ возможно воспользоваться следующей информацией: неисправность, срок службы автомобиля и наработка автомобиля. Используются показатели:

- средняя наработка элемента ЭСУ на отказ T:

$$T = t / r(t) \tag{1}$$

где: t – суммарная наработка всех автомобилей, имеющие идентичные отказы ЭСУ;

r(t) – число идентичных отказов ЭСУ, фактически происшедших за суммарную наработку.

- интенсивность отказов λ :

$$\lambda = (n(t + \Delta t) - n(t)) / N \Delta t \tag{2}$$

где: n(t) – число идентичных отказов ЭСУ, фактически происшедших за наработку от 0 до t;

n(t + Δt) – число идентичных отказов ЭСУ, фактически происшедших за наработку от t до t + Δt;

N – число автомобилей работоспособных в начальный момент времени;

t – интервал наработки в пределах гарантийного пробега;

Применяя разведочный анализ, при обработке статистических данных используется метод «джекнайф» [12], который заключается в последовательном удалении из выборки объема n одного элемента и проверки на нем статистических выводов, полученных по оставшейся выборке объема (n-1). Затем удаленный элемент заменяют другим и т.д., что дает n проверок статистических выводов, позволяющих судить об их достоверности. При выявлении лимитирующих надежность ЭСУ закономерностей используется подтверждающий анализ – 2 этап.

**2 этап:** использование расчетно-экспериментального метода с использованием данных эксплуатационного наблюдения для определения показателей надежности. Определенную трудность для проведения эксплуатационного наблюдения составляет выбор плана наблюдения и выбор показателя надежности, по которому будет оцениваться эксплуатационная надежность.

В настоящее время различают 16 планов эксплуатационных наблюдений на надежность. План наблюдения [13] устанавливает объем выборки, порядок проведения испытания и критерии их прекращения независимо от вида продукции. Ограничить количество планов для их выбора, позволяет стратегия его проведе-

ния: без восстановления отказавшего изделия (планы типа [...R...]) или с возможностью восстановления отказавшего изделия (планы типа [...U...] [...M...]). Для автомобиля, который является восстанавливаемым объектом, количество планов эксплуатационных наблюдений сокращается до 14.

Для оценки эксплуатационной надежности предлагается использовать комплексный показатель надежности – коэффициент готовности  $K_r$ :

$$K_r = T / (T + T_v) \quad (3)$$

где:  $T$  – средняя наработка на отказ;

$T_v$  – среднее время восстановления.

Применение данного показателя позволит:

- оценить как показатели безотказности (для определения лимитирующих элементов ЭСУ), так и показателей ремонтпригодности (для определения «проблемных» вопросов возникающих при восстановлении работоспособности ЭСУ);

- сократить перечень планов эксплуатационных наблюдений, что упрощает выбор плана эксплуатационного наблюдения.

Для оценки  $K_r$  [14] рекомендуется применять планы эксплуатационного наблюдения [NMT] и [NMR].

Кроме существующих нормативных требований [13,14], определяющих выбор плана эксплуатационных наблюдений в работе [15] рекомендуется при выборе плана использовать функции (критерии) эффективности: средней продолжительности  $T_{набл}$ , средней стоимости  $S_{набл}$  и точности  $B_{набл}$  наблюдений соответствующих плану при достижений функцией показателей:

$$\begin{cases} f(T_{набл}) \rightarrow \min \\ f(S_{набл}) \rightarrow \min \\ f(B_{набл}) \rightarrow \max \end{cases} \quad (4)$$

Анализ [15] планов испытаний в зависимости от критериев эффективности при их проведении представлен в таблице 1

**Таблица 1. Зависимость функций эффективности от плана испытаний**

Тип плана испытаний	Функция эффективности		
	$T_{набл}$	$S_{набл}$	$B_{набл}$
NUN	-	-	+
NUR NUT	+/-	+/-	+/-
NUZ	+/-	+	+/-
NMR NMT	+	-	+/-

В таблице 1 «+» означает, что план наиболее предпочтителен по данному критерию; знак «+/-» означает, что план не является наилучшим по данному критерию; знак «-» означает, что план наихудший по данному критерию.

Использование плана [NMT] для эксплуатационного наблюдения за надежностью ЭСУ

автомобилей позволит получить наиболее актуальные показатели надежности при оптимальной эффективности проведения наблюдений.

При определении объема испытаний сталкиваемся с рядом трудностей:

1. Отсутствует информация о том, какому закону распределения будет подчиняться исследуемый параметр  $K_r$ . В этом случае в работе [16] число подконтрольных автомобилей  $N$  рекомендуется определять по приближенной формуле:

$$N = \log(1-q) / \log(1-\varepsilon) \quad (5)$$

где:  $q$  – доверительная вероятность;

$\varepsilon$  – допустимая ошибка.

Для изделий массового и серийного производства [14]  $\varepsilon=0,10$  и  $q=0,90$ , находим, что минимальное число подконтрольных автомобилей должно быть не менее 22.

2. Некоторую специфику приобретает взаимосвязь числа подконтрольных автомобилей  $N$  и относительной продолжительности наблюдений, которая определяется [14] формулой:

$$\chi \times N = r \quad (6)$$

где:  $\chi$  – относительная продолжительность наблюдений;

$r$  – прогнозируемое число отказов.

Прогнозируемое число отказов  $r$  для изделий массового и серийного производства с использованием справочных таблиц [14] и показателя допустимой ошибки  $\varepsilon=0,10$  и доверительной вероятности  $q=0,90$  установить не составляет никакой трудности – 217.

Но, какую единицу измерений будет иметь относительная продолжительность наблюдений  $\chi$  в формуле 6 – месяц; год; тыс. км. наработки?

Авторами предлагается формула 7 для определения календарной продолжительности наблюдений:

$$T = \frac{r \times l_0}{N \times l_{год}}, \text{ лет} \quad (7)$$

где:  $T$  – календарная продолжительность наблюдений, лет;

$r$  – число прогнозируемых отказов, ед. ;

$N$  – количество объектов наблюдений, ед.;

$l_0$  – гарантийный пробег наблюдаемых объектов на отказ тыс. км.;

$l_{год}$  – среднегодовой пробег наблюдаемых объектов, тыс. км/год.

### Заключение

Предлагаемый алгоритм проходит опробование в одной из силовых структур Республики Беларусь для оценки эксплуатационной надежности автомобилей МАЗ, оборудованных ЭСУ экологического уровня Евро-3.

### Литература:

1. Белоусов, Б.Н. Прикладная механика тягово-транспортных средств с мехатронными системами. Монография / Б.Н. Белоусов, С.Б. Шухман ; под ред. Б.Н. Белоусова. – М.: Агроконсалт, 2013. – 612 с.

2. Дубовик, Д.А. Бортовые системы управления мобильных машин: настоящее и будущее / Д.А. Дубовик, В.В. Савченко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3. – С.37-49.

3. Григорьев, М.В. Повышение эксплуатационной надежности электронных систем управлений двигателем (На примере систем BOSCH M 1.5.4 и МИКАС 5.4.): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / М.В. Григорьев. – М., 2004. – 253 л.

4. Никитин, В.И. Надежность мехатронных систем / В.И. Никитин [и др.] // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / ХНАДУ – Харьков, 2004. – С 59-62.

5. Научно-исследовательские работы // Белорусский научно-исследовательский институт транспорта „Транстехника“ [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://www.transtekhnika.by/archiv/index.htm>. – Дата доступа: 16.02.2014.

6. Мороз, Д. МАЗ: услышать потребителя/ Д. Мороз // Транспортный вестник. – 2013. -19 декабря // <http://www.transport-gazeta.by/index.php/article/3540/number/51/19-12-2013/maz-uslyshat-potrebiteleya>

7. Гончаров, А.А. Совершенствование технологии диагностирования электронных систем управления автомобильных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Гончаров. – Оренбург, 2004. – 96л.

8. Федоров, А.А. Разработка методики организации производства диагностирования электронных систем управления двигателями внутреннего сгорания с помощью передвижных лабораторий: дис. ... канд. техн. наук:

05.22.10 / А.А. Федоров. – Самара, 2009. – 166 л.

9. Сухарев, Э.А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: учеб.пособ. – Ровно: НУВХП, 2006.- 192 с.

10. Основы надежности машин: учеб. Пособие для вузов. Часть II/ И.Н. Кравченко [ и др.]; под общ. ред. И.Н. Кравченко. – М.: Издательство, 2007. – 260 с.

11. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – Введ. 01.07.90 – М.: Издательство стандартов, 1990. – 86 с.

12. Exploratory data analysis, JOHN W. Tukey, 1977, by Addison – Wesley Publishing Coompany, Inc.

13. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность: ГОСТ 27.410 – 87. Введ. 01.01.89. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 77 с.

14. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным: РД 50-690-89. – Введ. 01.01.91. – М.: Гос. Комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 132 с.

15. Аронов, И.З. Планирование определительных испытаний на надежность и обработка их результатов/ И.З. Аронов, М.В. Журцев // Закономерности влияния надежности машин на эффективность их эксплуатации / А.М. Шейнин [и др.]. – М. 1987. – С. 55-112.

16. Трикозюк, В.А. Повышение надежности автомобиля / В.А. Трикозюк. – М.: Транспорт, 1980. – 88 с.

УДК 621.