

УДК 629.3.027.2

А. С. Касимова, магистрант

Г. И. Оверченко, кандидат технических наук, доцент

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г.Уральск, РК

МЕТОДИКА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В РУЛЕВОМ УПРАВЛЕНИИ АВТОМОБИЛЯ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с изучением отказов и методов диагностирования и поиска неисправностей в рулевом управлении с использованием метода Байеса.

Ключевые слова: рулевое управление, диагностика, диагностические параметры, поиск неисправностей, метод Байеса.

Среди методов обеспечения работоспособности главным является применение диагностирования. Суть процесса обеспечения работоспособности можно пояснить с помощью рисунка 1. На рисунке 1 представлена плотность распределения наработка до отказа в виде кривой $f(t)$.

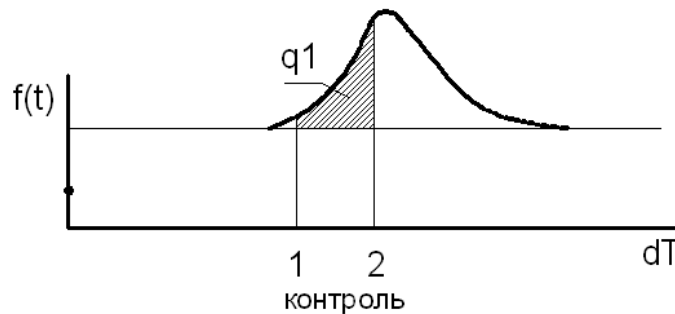


Рисунок 1 – Плотность распределения наработки до отказа

Если провести диагностирование в период, обозначенный цифрой 1, то вероятность обнаружения и следовательно, предотвращения отказа в эксплуатации g будет незначительна. В период 2 вероятность отказов в эксплуатации до второй проверки составит g_1 , величину более значительную.

Таким образом изменяя периодичность проверок (диагностирования), можно управлять (обеспечивать) работоспособность объектов в эксплуатации.

Эффективность восстановления систем автомобиля определяется не только с ростом интенсивности отказов, но и продолжительностью восстановления. Процесс восстановления включает диагностические операции и операции непосредственного устранения (ремонта) отказавшего элемента. Современная стратегия восстановления неисправностей требует восстановления только той части машины, которая вышла из строя или исчерпала свой ресурс.

В связи с этим большую актуальность приобретает задача снижения времени и стоимости поиска отказавшего элемента (узла, детали) и времени устранения отказа. Опыт эксплуатации показывает, что наиболее продолжительным этапом процесса восстановления работоспособности является процесс поиска отказавшего элемента.

Установлено, что вероятность одновременного возникновения в системе двух и большего числа отказов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью возникновения одного отказа. Поэтому, если в системе, состоящей из N элементов, отказал 1-й элемент, то будем считать, что система находится в одном из N состояний, а именно, в 1-й состоянии. Другими словами, условимся полагать, что число состояний отказавшей системы равно числу элементов N . Таким образом, целью диагностического процесса является выявление отказавшего элемента или, что то же самое, определение номера состояния системы.

Последовательность (программу) испытаний (проверок) можно установить различными способами. Правило (совокупность математических операций), которое позволяет определить

срок очередной проверки, обычно называют *алгоритмом проверок*. Сами программы проверок могут быть *жесткими* и *гибкими*. При жесткой программе поиска последовательность проверок определена заранее и в процессе поиска отказавшего элемента не изменяется. При гибкой программе поиска характер (содержание) очередной проверки устанавливается в ходе диагностического процесса, т. е. решение о проведении следующего испытания принимается после анализа результатов предыдущего испытания.

Таким образом, характерной чертой диагностического процесса является выбор наиболее эффективной программы испытаний (проверок), обеспечивающей решение проблемы недостатка информации о состоянии отказавшей системы [1].

Как уже отмечалось, оптимизировать диагностический процесс можно по различным критериям (продолжительности, общему числу проверок, стоимости реализации). Для некоторых сложных систем первостепенное значение имеет поддержание их в состоянии, готовом к немедленному применению по назначению. В этом случае основным критерием оптимизации является продолжительность диагностического процесса. Условимся в дальнейшем считать процесс поиска неисправного элемента оптимальным, если его продолжительность минимальна. Оптимальный диагностический процесс предполагает немедленное использование полученной информации, т. е. проведение испытаний по гибкой программе. Содержание каждого последующего этапа поиска зависит от результатов, полученных на предшествующем этапе поиска. Нумерация этапов поиска начинается с нуля. В качестве нулевого этапа можно рассматривать испытание системы на работоспособность.

В частности, используются следующие методы: метод поэлементных проверок; метод групповых проверок; метод логического анализа симптомов отказа. Следует иметь в виду, что каждый метод позволяет получить оптимальную программу поиска только в конкретной ситуации. Так, первые два метода дают наибольший эффект при использовании их в ситуациях, когда квалификация обслуживающего персонала недостаточно высока (отсутствуют навыки распознавания симптомов, наблюдаемых при отказе систем, и т. д.) [1].

Этот метод предусматривает проверку элементов по одному в определенной, заранее заданной последовательности. Каждая проверка имеет два исхода: либо элемент исправен, либо нет. Если проверяемый элемент оказался исправным, то приступают к проверке следующего элемента и так до обнаружения неисправного. Выясним, в какой последовательности необходимо проверять элементы, чтобы удовлетворить принципу МСПИ. Для этого рассмотрим систему, состоящую из N элементов (рисунок.2).

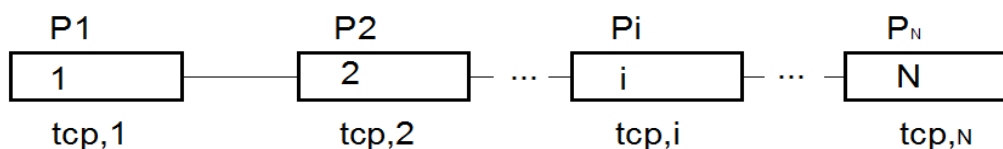


Рисунок 2 – Схема поиска неисправностей

Таким образом, можно сделать вывод: если среднее время проверки любого элемента одно и то же ($t_i = \text{const}$), то в соответствии с принципом минимального времени элементы следует проверять в последовательности

$$P_1 > P_2 > \dots > P_i > \dots > P_N \quad (1)$$

Учитывая, что среднее время проверки каждого элемента $t_{cp,i}$ различно, оптимальную последовательность проверки элементов определим рядом

$$P_1/t_{cp,1} \geq P_2/t_{cp,2} \geq \dots \geq P_i/t_{cp,i} \geq \dots \geq P_N/t_{cp,N} \quad (2)$$

Суммарный угловой люфт (СУЛ) рулевого управления является обобщенным диагностическим параметром, т.е. параметром, который характеризует состояние нескольких деталей или узлов. Рассматривая кинематическую цепь передачи вращения от рулевого колеса до момента начала поворота колес можно составить перечень износов, определяющих суммарный люфт. Суммарный люфт состоит из суммарного износа в подшипниках передних колес (S_n), зазора в шаровом шарнире ($S_{ш}$), зазора в резьбовом соединении регулировочного

механизма, зазора в соединении рулевых тяг и рейки (St), зазора в соединении «шестерня-рейка» (Sp), зазоров в соединительной муфте (Sm).

$$S_p+S_{ш}+S_t+S_{p}+S_m = S_l \quad (3)$$

Преимуществом использования данного диагностического параметра является то, что он отражает состояние всех входящих в кинематическую цепь деталей. Допустимое значение СУЛ для легковых автомобилей составляет 10^0 . Однако, опыт эксплуатации транспортных средств и обслуживания на СТОА показывает, что даже в случае нахождения СУЛ в допустимых пределах отдельные детали, в частности шаровые шарниры имеют параметры износа неисправных деталей. Причина кроется в том, что СУЛ не является простым суммированием износа входящих в цепь деталей. Конструкция рулевого управления автомобиля предполагает, что у разные детали осуществляют свои функции различными способами движения вращательным, поступательным, углового перемещения. Это приводит к возможной компенсации износов за счет износа других деталей.

Таким образом необходимо исследовать динамику изменения состояния отдельных деталей рулевого управления и соответствующих значений СУЛ в функции пробега автомобилей.

Ситуация потери работоспособности, т.е. возникновение отказа по причине превышения параметров допустимых значений наступает после определенного пробега. Так как все детали рулевого управления можно представить как последовательную цепь, возникает возможность расположить полученное распределение на одной числовой оси, характеризующей пробег автомобиля (таблица 1, рисунок 2) [2].

Таблица 1 – Параметры распределения среднемесячного пробега за период с 2013-2015 год

Деталь узел	Параметры распределения					Вид закона распределения
	M(L)	Lmin-Lmax	σ (L)	V(L)	$p(\chi^2)$	
Рейка	42788	15771-65000	9950	0,23	0,40	нормальный
Шаровые шарниры	28313	14251-43461	5632	0,19	0,46	нормальный
Резино-мет. шарнир	95188	72981-130812	12663	0,13	0,13	нормальный
Подшипник колес	90411	45750-134511	21301	0.23	0.44	нормальный

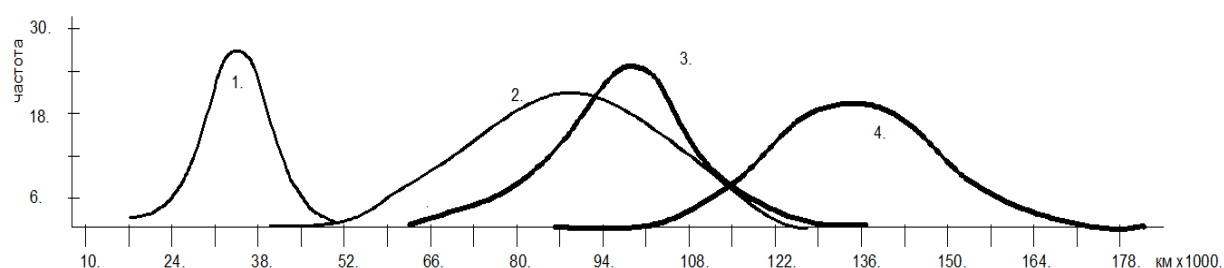


Рисунок 3 – Распределение наработки до отказа деталей рулевого управления

1 – шаровый шарнир, 2 – рейка, 3 – подшипник колес, 4 – резино-металлический шарнир

Представленные данные указывают на значительное рассеивание наработки на отказ различных деталей рулевого управления. Разброс значений наработки очень велик от 17000 до 179000 км. Если при наработке от 17 000 до 50000 выход значений суммарного углового люфта будет вызван с большой вероятностью шаровыми опорами, то при наработке от 85 000 до 110000 км. одновременно могут выйти из строя две и более детали.

Так как технология устранения отказа у всех деталей рулевого управления различна, то возникает задача локализации места неисправности. Определить конкретную деталь по параметрам суммарного люфта не представляется возможным.

Для локализации неисправности возможно применить формулу Байеса. Формула Байеса используется в статистических методах распознавания, когда признаки характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их появления.

Статистическое обследование состояния деталей рулевого управления позволило получить следующие данные.

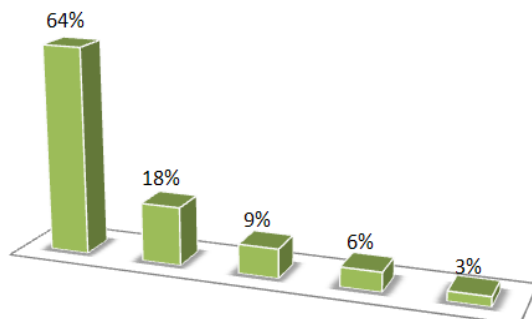


Рисунок 4 – Эксплуатационные отказы элементов рулевого управления переднеприводных автомобилей ВАЗ

Из представленных данных следует, что наиболее часто встречающимися дефектами при проведении обслуживания и ремонта являются: неисправность шаровых шарниров по причине увеличения зазора 64%; износ реечной передачи – 18%; неисправности резиновых шарниров – 9%; неисправности соединительных муфт – 6%.

Достижение предельного состояния может происходить при любых значениях пробега автомобиля. В любой момент времени (рисунок 4) возможен отказ одной или двух деталей. В рамках настоящего исследования ставится задача поиска неисправности при определенных значениях суммарного углового люфта.

Метод Байеса базируется на апостериорной информации о наработке до отказа деталей рулевого управления. Ставится задача по комплексу признаков (СУЗ) определить с определенной вероятностью диагноз состояния, в котором может находиться объект. Вероятность состояния определяется по формула Байеса [3].

$$P(D_i/k_i) = P(D_i) \frac{P(k_i/D_i)}{P(k_i)} \quad (4)$$

где $P(D_i/k_i)$ – вероятность диагноза D_i при наличии признака k_i ; $P(D_i)$ – вероятность диагноза; $P(k_i/D_i)$ – вероятность появления признака k_i у объектов D_i ; $P(k_i)$ – вероятность появления признака k_i у всех объектов

Решение о диагнозе D_i принимается при следующем условии:

$$P(D_i/k_i) \geq P_D \quad (5)$$

где P_D – заданная надежность диагностирования (0.8-0.9)

Используя данные рисунков 2 и 3, остановимся на двух неисправностях, которые в большей степени определяют состояние всего рулевого управления. Это износ шаровых шарниров и износ реечной пары. Для использования формулы Байеса необходимо составить диагностическую матрицу. Обозначим в качестве признака k_1 – превышения суммарного углового зазора (СУЗ) свыше 5^0 , k_2 – превышенный СУЗ свыше 10^0 . Превышение приведенного суммарного углового зазора (ЧСУЗ) свыше 3^0 , превышение приведенного суммарного углового зазора (ЧСУЗ) свыше 6^0 .

Выбираем 5 основных состояний РУ. Исправное состояние – D_1 , допустимое состояние – D_2 , состояние при превышении износа рейки свыше 2^0 – D_3 , состояние при износе шарниров свыше 0,5 мм – D_4 , состояние при котором износ рейки и шарниров одновременно превышают допустимые D_5 . Диагностическая матрица представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Диагностическая матрица рулевого управления

Диагноз D_i	Параметры k_i				
	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(k_3/D_i)$	$P(k_4/D_i)$	$P(D_i)$
Исправное состояние - D_1	0,83	0,001	0,94	0,005	0,51
Допустимое состояние - D_2	0,71	0,001	0,86	0,001	0,24
Состояние при превышении износа рейки свыше 2^0 - D_3	0,14	0,1	0,22	0,91	0,14
Состояние при износе шарниров свыше 0,5 мм – D_4	0,11	0,002	0,88	0,89	0,32
Состояние при котором износ рейки и шарниров одновременно превышают допустимые D_5 .	0,003	0,001	0,76	0,91	0,28

Подставляя данные таблицы 2 в обобщенную формулу Байеса, получим следующий результат.

Вероятность состояния D_1 при значениях СУЗ 5^0 – 0,91

Вероятность состояния D_2 при значениях СУЗ 5^0 – 0,61

Вероятность состояния D_1 при значениях СУЗ 10^0 – 0,001

Вероятность состояния D_2 при значениях СУЗ 10^0 – 0

Анализ результатов показал, что при значениях СУЗ, равных 5 градусам, с вероятностью 0,91 рулевое управление исправно. Диагноз D_2 означает, что ресурс рулевого управления достаточен до следующего ТО-2. Вероятность исправного состояния равна 0,61. При допустимом пороге равном 0,8 это недостаточно. Для уточнения состояния, в котором находится объект, необходимо провести дополнительные измерения. К таким измерениям относится частный люфт. Конструкция рулевого управления позволяет зафиксировать неподвижно зубчатую рейку. Величина частного люфта будет формироваться из зазоров в зубчатом зацеплении рулевого механизма, а так же шлицевом и заклепочном соединениях муфты рулевого вала. Поскольку люфт в соединениях муфты рулевого вала недопустим, то максимально допустимая величина приведенного люфта будет определяться только зазором в зубчатом зацеплении рулевого механизма. Таким образом частный люфт – это угол отклонения рулевого колеса – измеряется по моментам начала перемещения рейки механизма, при его повороте сначала в левую, а затем в правую стороны. Измерение приведенного люфта обозначается состоянием k_3, k_4 . При значениях ЧСУЗ до 3^0 вероятность исправного состояния составляет 0,96.

Выводы:

1. Диагностирование агрегатов автомобиля по обобщенным параметрам в ряде случаев требуют уточнения результатов диагноза.
2. Распределение наработки до отказа деталей рулевого управления показывает, что она может рассматриваться как случайная величина.
3. Статистические методы распознавания на основе формулы Байеса позволяют с достаточной точностью судить о состоянии объектов, производить поиск неисправностей и прогнозировать восстановительные мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дедков В.К. Основные вопросы эксплуатации сложных систем : учебное пособие для втузов / В.К. Дедков, Н.А. Северцев. – М.: «Высшая школа», 1976. – 406 с.
- 2 Долгова В.Н. Статистика: учебник и практикум / В.Н. Долгова, Т.Ю. Медведева. - 2-е, пер. и доп. – М.: Юрист, 2015. – 626 с.
- 3 Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

ТҮЙІН

Бұл мақалада Байес әдісін пайдалана отырып, жалпы бұрыштық саңылау параметрлері рульдік бакылаудың диагнозы талқыланады.

RESUME

This article discusses the diagnosis of the steering control in the parameters of the total angular backlash using Bayesian method