

УДК 629.113.004.53

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЦЫ СОСТОЯНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор

Кокорев Геннадий Дмитриевич
к.т.н., доцент

Николотов Илья Николаевич
аспирант

Гусаров Сергей Николаевич
аспирант

Лыков Сергей Владимирович
аспирант

Заикин Максим Михайлович
студент 5-го курса
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

В статье рассмотрена методика определения рационального перечня диагностических параметров тормозной системы автомобиля методами теории вероятностей и математической статистики. Решены задачи: определения статистических вероятностей появления отказов объектов на рассматриваемом пробеге; разработаны математические модели (регрессионные зависимости) вероятностей отказов от пробега; проведена статистическая оценка значимости коэффициентов регрессионных моделей; осуществлена проверка регрессионных моделей на адекватность; определены вероятности возможных состояний объектов. На основе построения и анализа структурно-следственной модели тормозной системы рассчитывалась информационная значимость каждого контролируемого параметра с использованием понятия информационной энтропии, определялись параметры, подлежащие диагностированию, и строилась матрица состояния тормозной системы для проведения неразрушающего контроля, с целью перехода на техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию

Ключевые слова: МЕТОДИКА, ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, МАТРИЦА СОСТОЯНИЙ, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

UDC 629.113.004.53

A METHOD OF CONSTRUCTING A MATRIX OF STATES OF THE DIAGNOSTIC PARAMETERS OF BRAKE SYSTEM OF A CAR

Uspenskiy Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor

Kokorev Gennady Dmitrievich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Nikolotov Ilya Nikolaevich
postgraduate student

Gusarov Sergei Nikolaevich
postgraduate student

Lykov Sergey Vladimirovich
postgraduate student

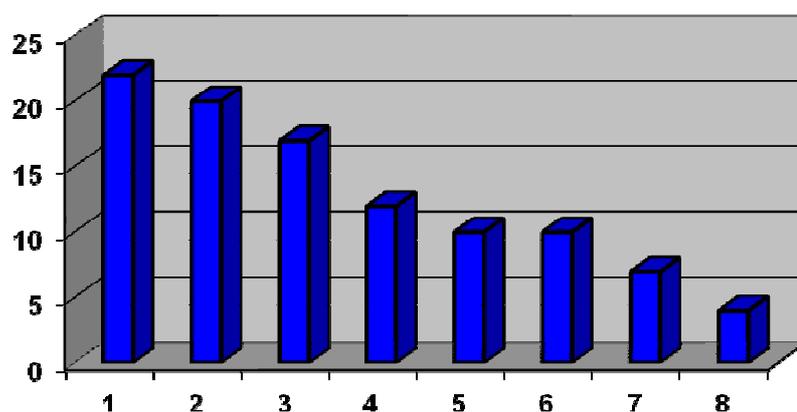
Zaikin Maxim Mikhailovich
5th year student
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

The article describes the method of determining the list of rational diagnostic parameters of the brake system of a vehicle using the theory of probability and mathematical statistics. The problems determining the statistical probabilities of failures on objects considered a run; mathematical models (regression dependence) the probability of failure of the objects; A statistical evaluation of the significance of the coefficients of regression models; verification has been made on the adequacy of the regression models; the probabilities of possible states of objects. On the basis of the construction and analysis of structural- effect model brake system information and calculates the importance of each monitored parameter using the notion of information entropy, determine the parameters to be diagnostic, and builds a matrix condition of brake systems for non-destructive testing, in order to move on maintenance and repair of the actual state

Keywords: METHODS, BRAKE SYSTEMS, TECHNICAL DIAGNOSING, MAINTENANCE RATE, STATE MATRIX, DIAGNOSTIC PARAMETERS

Анализ статистических данных эксплуатации автомобилей КАМАЗ [1, 2] позволил обоснованно установить распределение отказов по объектам диагностирования (рисунок 1).

Изучение информации о надежности автомобилей КАМАЗ [1, 2] показывает, что конструктивные отказы составляют 43,6 %, производственные – 32,2 %, эксплуатационные – 24,2 %. Из них внезапные отказы составляют 38,7 %, а постепенные – 61,3 %.



1-двигатель и его системы, 2-ходовая часть, 3-трансмиссия, 4-кабина, корпус, платформа, 5-тормозная система, 6-электрооборудование, 7-рулевое управление, 8-спецоборудование

Рисунок 1 - Относительное распределение отказов по агрегатам, механизмам и системам машины

Одной из систем обеспечивающих безопасность дорожного движения является тормозная система, которая также входит в перечень рациональной совокупности объектов подлежащих диагностированию [6].

Для определения рационального перечня диагностических параметров тормозной системы методами теории вероятностей и математической статистики необходимо решить следующие задачи:

1. Определить статистические вероятности появления отказов объектов на рассматриваемом пробеге.

2. Разработать математические модели (регрессионные зависимости) вероятности отказов от пробега.

3. Провести статистическую оценку значимости коэффициентов регрессионных моделей.

4. Проверить регрессионные модели на адекватность.

5. Определить вероятности возможных состояний объектов.

Ряд распределения статистической вероятности P_i^* появления отказа i - го объекта диагностирования от пробега (L) – в нашем случае для тормозной системы, представлен в таблице 1, соответствующий ему полигон распределения показан на рисунке 2 (позиция 1). Следует отметить, что полигон распределения является графическим изображением ряда распределения, который строится путем восстановления перпендикуляра к оси абсцисс для каждого значения случайной величины, полученные точки для наглядности (и только для наглядности) соединяются отрезками прямых [1].

Анализируя полигон распределения можно сделать предположение о виде зависимости [1] между переменными P и L .

Таблица 1 – Статистические ряды распределения величины

| | Интервал, тыс.км | | | | | | |
|-------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Тормозная система | | | | | | | |
| m | 5 | 4 | 6 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| P^* | 0,02 | 0,016 | 0,0241 | 0,0281 | 0,0281 | 0,032 | 0,0281 |

Так, вероятная связь между переменными для рассматриваемой нами тормозной системы, является квадратичной.

Основной задачей регрессионного анализа является установление вида функции, связывающей функцию отклика с факторами, оказывающими на нее влияние. Уравнения регрессии определяют математические зависимости между переменными физического процесса, поэтому их называют математическими моделями [1,3].

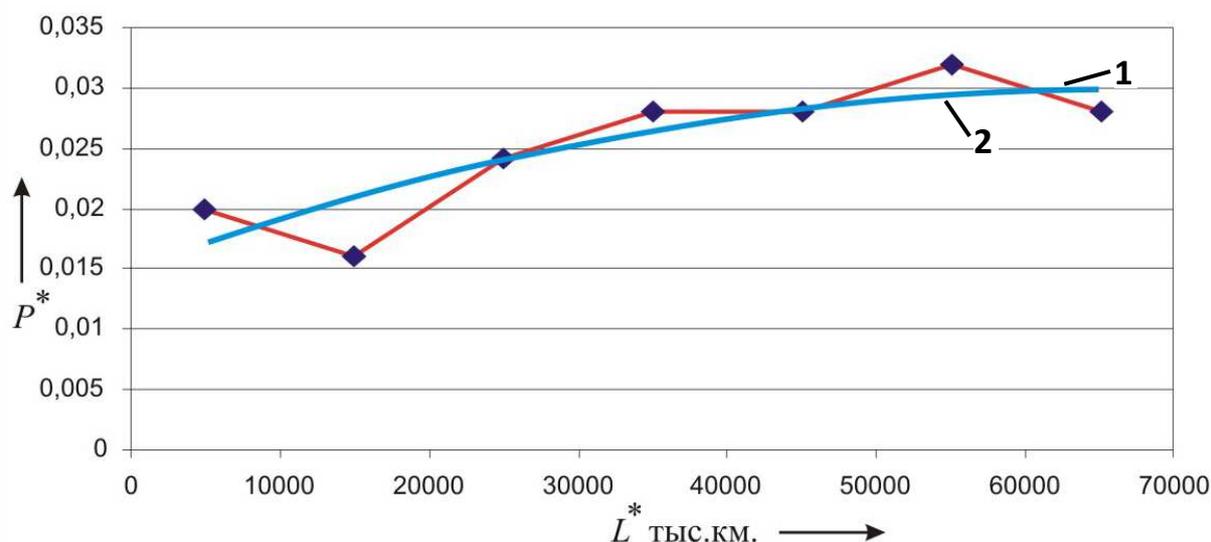


Рисунок 2 - Полигон распределения статистической вероятности отказов (1) и зависимость вероятности появления отказа от пробега (2) для тормозной системы

Выше было указано, что предполагаемая зависимость между переменными описывается полиномом первой и второй степеней [3, 5]. Теперь необходимо выбрать параметры полиномов, чтобы теоретические зависимости наилучшим образом аппроксимировали экспериментальные зависимости.

Общепринятым при решении подобных задач является метод наименьших квадратов, при котором требование наилучшего согласования теоретической зависимости и экспериментальных точек сводится к тому, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой обращалась в минимум, то есть

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_n - y_{эксн})^2 \rightarrow \min , \quad (1)$$

Обработка экспериментальных данных проводилась на ЭВМ с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel [1].

В результате работы программы были определены коэффициенты моделей и получены регрессионные зависимости вероятности появления отказов от пробега:

Для тормозной системы:

$$P_7 = 0,0149 + 5 \cdot 10^{-7} L - 3 \cdot 10^{-12} L^2, \quad (2)$$

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили установить закономерность изменения вероятностей появления отказа от пробега и разработать на их основе регрессионную зависимость, которая может быть использована для прогнозирования технического состояния объектов диагностирования и определения рациональной периодичности их контроля.

Для построения матриц состояний диагностических параметров тормозной системы автомобиля проводилась оценка математической регрессионной модели и выдвигались две гипотезы: - модель адекватная; - модель неадекватная.

Проверка правдоподобности гипотезы об адекватности производилась с помощью критерия Фишера, записываемого в виде следующего альтернативного условия [4]:

$$F_{опыт} = \frac{S^2\{y\}}{S^2\{y\}_{восп}}, \quad (3)$$

при $F_{опыт} \geq F_{табл}$ - модель адекватная (нулевая гипотеза H_0 ($\alpha = 0,05, K_1 = n - d - 1, K_2 = n - 1$) отвергается с риском ошибки не более чем 5%), где $S^2\{y\}_{восп}$ - дисперсия воспроизводимости эксперимента;
 $S^2\{y\}$ - построчные дисперсии; α - число значащих коэффициентов модели.

Результат проверки математической модели приведен в таблице 2.

Полученные результаты однофакторного дисперсионного анализа (таблица 2) показывают, что построенная математическая модель адекватно описывает изучаемые явления.

Для дополнительной проверки адекватности разработанной модели был выполнен анализ остатков [1]. Проведенные с помощью программы «Microsoft Excel» расчеты показали, что в ряду остатков отсутствует систематическая составляющая (ряд не имеет закономерности, его элементы случайны), а последовательные остатки независимы между собой, что подтверждает правильность построенных регрессионных моделей.

Таблица 2 - Таблица однофакторного дисперсионного анализа

| Источник дисперсии | Сумма квадратов | Степени свободы | Средний квадрат | $\frac{F_{опыт}}{F_{табл}}$ |
|-------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| Тормозная система | | | | |
| Регрессия | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | 2 | $5,36 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{11,91}{6,16}$ |
| Отклонение от регрессии | $5,45 \cdot 10^{-5}$ | 4 | $1,1 \cdot 10^{-5}$ | |
| Полная | $1,84 \cdot 10^{-4}$ | 6 | | |

При проведении диагностирования каждый объект может находиться как в исправном, так и в неисправном состояниях по причине отказа одного из составных элементов. При разделении объекта на N элементов при двухальтернативном исходе контроля для каждого из них множество отказов объектов диагностирования (ОД) характеризует его как вероятностную систему с конечным множеством состояний равным числу отказавших его составных элементов, появление каждого из которых характеризуется вероятностью. Вероятность появления отказа объектов определяется по зависимостям [1, 2, 6].

Вероятность исправного состояния определяется, как вероятность противоположного события по формуле:

$$P(S_0) = 1 - P(\bar{S}_0), \tag{4}$$

где $P(S_0)$ - вероятность исправного состояния объекта диагностирования;

$P(\bar{S}_0)$ - вероятность появления отказа.

С учетом аксиомы сложения [7], гласящей, что вероятность появления одного из нескольких независимых и несовместимых однородных (принадлежащих к одной группе) событий равна сумме вероятностей этих событий, вероятность $P(\bar{S}_0)$ принимается равной сумме вероятностей отказов составных элементов объекта диагностирования.



Рисунок 3. - Структурно-следственная модель тормозной системы

В результате, пренебрегая вероятностями совместного появления отказов $\langle S_1, \dots, S_j \rangle$ и принимая их появление событиями независимыми [5], находим:

$$P(\bar{S}_0) \approx \sum_{j=1}^N P(S_j) \tag{5}$$

$$P(S_0) \approx 1 - \sum_{j=1}^N P(S_j) \tag{6}$$

Таким образом, вероятности возможных состояний ОД определяются с учетом вероятности отказа объекта и соотношения отказов элементов ОД на данном интервале пробега.

При определении параметров, подлежащих диагностированию *рассчитывалась информационная значимость каждого контролируемого параметра.* Для этого предварительно разработана структурно-следственная модель тормозной системы (рисунок 3) на основе оценки надежности и анализа причинно-следственных связей.

Проведенный анализ структурно-следственной модели объекта диагностирования позволил установить перечень диагностических параметров для тормозной системы автомобиля (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты анализа структурно-следственной модели тормозной системы

| Наименование объекта диагностирования | Наименование диагностического параметра |
|---------------------------------------|--|
| Тормозная система | - скорость нарастания давления в пневмосистеме; - установившееся замедление; - величина зазора между тормозным барабаном и накладкой тормозной колодки |

Вместе с тем, анализ структурно-следственной модели тормозной системы и результаты ранее проведенных исследований [7] позволили

построить матрицу состояний, характеризующих распознавание параметрами возможных состояний объектов.

Система может находиться в одном из трех состояний (S_0, \dots, S_3). S_0 соответствует исправному состоянию всех элементов, последующие составляющие – отказу соответствующей части (элемента).

Так, матрица состояния (таблица 4) [3] тормозной системы, где S_0 соответствует исправному состоянию, неисправные состояния (S_1, \dots, S_6) обусловлены отказами соответственно компрессора, тормозного крана, тормозной камеры, тормозных колодок, пневмоцилиндра, тормозного барабана.

Согласно теоретическим исследованиям, проведенным в [1, 2] первоначальным этапом в определении значимости диагностических параметров объектов диагностирования является расчет для каждого из них максимально возможного значения априорной энтропии.

Таблица 4 – Матрица состояний тормозной системы [3]

| Параметры | Состояние | | | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | S_0 | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | S_6 |
| y_{11} - скорость нарастания давления в пневмосистеме | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| y_{12} - установившееся замедление | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| y_{13} - падение давления на участках системы | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| y_{14} - выход штока тормозных камер | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| y_{15} - величина зазора между тормозным барабаном и накладкой тормозной колодки | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Максимум априорной энтропии для объектов диагностирования определялся по формуле (4):

$$H_0 = -(P(S_0)\log_2 P(S_0) + P(S_1)\log_2 P(S_1) + P(S_2)\log_2 P(S_2) + P(S_3)\log_2 P(S_3)) + P(S_4)\log_2 P(S_4) + P(S_5)\log_2 P(S_5) + \dots + P(S_i)\log_2 P(S_i)) \quad (7)$$

где $P(S_0)$ - вероятность исправного состояния; $P(S_1), \dots, P(S_i)$ - вероятности нахождения ОК в неисправном состоянии по причине отказа i - го элемента.

Значение, полученное в результате расчета максимальной энтропии объекта диагностирования равно 1,05 двоичных единиц.

Результаты расчета количества приносимой каждым параметром информации и остающейся после их контроля апостериорной энтропии технического состояния объектов диагностирования приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета количества информации и энтропии ТС тормозной системы [3]

| Параметры | Состояния | | | | | | | Апостериорная энтропия, дв. ед. | Количество информации, бит. |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-----------------------------|
| | S_0 | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | S_6 | | |
| y_{11} | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,83 | 0,22 |
| y_{12} | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,58 | 0,47 |
| y_{13} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,81 | 0,24 |
| y_{14} | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,62 | 0,43 |
| y_{15} | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,94 | 0,11 |

Таким образом, результаты анализа структурно следственных связей объекта диагностирования, приведенные выше, и проведенные расчеты по

определению информационной значимости диагностических параметров позволили установить их рациональный перечень для каждого объекта диагностирования (таблица 6), что позволяет точнее определить неисправность и провести диагностику без дополнительных сборочно-разборочных операций.

Определение диагностических параметров позволит перейти на техническое обслуживание и ремонт систем обеспечивающих безопасность дорожного движения и автомобиля в целом по фактическому техническому состоянию.

Таблица 6 – Рациональный перечень диагностических параметров

| Наименование объекта диагностирования | Наименование диагностического параметра |
|---------------------------------------|--|
| Системы управления | |
| Тормозная система | Установившееся замедление тормозной системы Выход штока тормозных камер |

На основе матрицы состояния тормозной системы возможна разработка программного обеспечения для сканеров различных фирм в плане практического использования в процессе диагностирования автомобилей.

Литература

1. Бышов Н.В. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №07(081). С. 480 – 490. – IDA [article ID]: 0811207036. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/36.pdf>, 0,688 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266

2. Бышов Н.В. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники. Совершенствование системы диагностирования / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Жуков К.А., Гусаров С.Н. // ФГБОУ ВПО РГАТУ, Рязань, 2013, 41,5 усл. печ.л.

3. Бышов Н.В. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, И.А.Успенский, И.Н. Николотов, С.Н. Гусаров, Лыков С.В. // Вестник КрасГАУ. – 2013 – №12. – С. 179–184.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988 – 480 с.

5. Кокорев Г.Д. Математическая модель изменения технического состояния мобильного транспорта в процессе эксплуатации / Г.Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного Агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2012 – № 4 (16). – С. 90-93.

6. Кокорев Г.Д. Способ отбора рациональной совокупности объектов подлежащих диагностированию / Г.Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного Агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2013 – № 1 (17). – С. 61-64.

7. Кокорев Г.Д. Метод прогнозирования технического состояния мобильной техники / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.Н. Николотов, Е.А. Карцев Е.А. // Тракторы и сельхозмашины. –2010. – №12. С. 32–34.

References

1. Byshov N.V. Periodichnost' kontrolja tehničeskogo sostojanija mobil'noj sel'skohozjajstvennoj tehniky / N.V. Byshov, S.N. Borychev, G.D. Kokorev i dr. // Politematičeskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №07(081). S. 480 – 490. – IDA [article ID]: 0811207036. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/36.pdf>, 0,688 u.p.l., impakt-faktor RINC=0,266

2. Byshov N.V. Povyšenie gotovnosti k ispol'zovaniju po naznacheniju mobil'noj sel'skohozjajstvennoj tehniky. Sovershenstvovanie sistemy diagnostirovanija / Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Kokorev G.D., Juhin I.A., Zhukov K.A., Gusarov S.N. // FGBOU VPO RGATU, Rjazan', 2013, 41,5 usl. peč.l.

3. Byshov N.V. Razrabotka tablicy sostojanij i algoritma diagnostirovanija tormoznoj sistemy / N.V. Byshov, S.N. Borychev, G.D. Kokorev, I.A.Uspenskij, I.N. Nikolotov, S.N. Gusarov, Lykov S.V. // Vestnik KrasGAU. – 2013 – №12. – S. 179–184.

4. Ventcel' E.S. Teorija verojatnostej i ee inženernye prilozhenija / E.S. Ventcel'. – М.: Nauka, 1988 – 480 s.

5. Kokorev G.D. Matematičeskaja model' izmenenija tehničeskogo sostojanija mobil'nogo transporta v processe jekspluatacii / G.D. Kokorev // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo Agrotehnologičeskogo universiteta imeni P.A. Kostyčeva. – 2012 – № 4 (16). – S. 90-93.

6. Kokorev G.D. Sposob otbora racional'noj sovakupnosti ob#ektov podlezhashhih diagnostirovaniju / G.D. Kokorev // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo Agrotehnologičeskogo universiteta imeni P.A. Kostyčeva. – 2013 – № 1 (17). – S. 61-64.

7. Kokorev G.D. Metod prognozirovanija tehničeskogo sostojanija mobil'noj tehniky / G.D. Kokorev, I.A. Uspenskij, I.N. Nikolotov, E.A. Karcev E.A. // Traktory i sel'hozmashiny. –2010. – №12. S. 32–34.