



УДК 629.113.004.53

Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев,  
И.А. Успенский, И.Н. Николотов, С.Н. Гусаров, С.В. Лыков

## РАЗРАБОТКА ТАБЛИЦЫ СОСТОЯНИЙ И АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

В статье представлена методика построения таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы, рассмотрены этапы построения таблицы, а также методика построения логической модели и структурной схемы объекта диагностирования.

**Ключевые слова:** мобильная сельскохозяйственная техника, тормозные системы, техническая диагностика, логическая модель, структурная схема, объект диагностирования.

N.V. Byshov, S.N. Borychev, G.D. Kokorev,  
I.A. Uspenskiy, I.N. Nikolotov, S.N. Gusarov, S.V. Lykov

## THE DEVELOPMENT OF THE CONDITION AND ALGORITHM TABLE FOR THE BRAKE SYSTEM DIAGNOSING

The development technique for the condition and algorithm table of the brake system diagnosing is presented in article; the stages of the table development, and also the development technique of the diagnosed object logistic model and structural scheme are considered.

**Key words:** mobile agricultural machinery, brake systems, technical diagnostics, logistic model, structural scheme, diagnosed object.

**Введение.** Для поддержания мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) в готовности к использованию по назначению, своевременного и качественного проведения ее технического обслуживания и ремонта необходимо повысить уровень контроля за состоянием МСХТ путем внедрения в систему технического обслуживания регламентированных видов контроля технического состояния, основным видом которого является техническое диагностирование (ТД).

Одной из основных систем МСХТ, обеспечивающих безопасность выполнения работ, является тормозная система.

**Цель работы.** Совершенствование способа диагностирования тормозной системы МСХТ.

Для осуществления указанной цели необходимо решить **задачи** по разработке алгоритма диагностирования и реализовать алгоритм в виде таблиц состояний тормозной системы.

Для реализации задач, поставленных в работе, предлагается использовать **методы исследования**, основанные на применении теории информации и теории вероятности.

Для наиболее эффективного диагностирования тормозных систем мобильной сельскохозяйственной техники применяются многие рациональные закономерности диагностирования [3]. В связи с этим требуется перевести эти закономерности в алгоритмы, пригодные для диагностирования тормозных систем. Для этого разрабатываются таблицы состояний объектов диагностирования.

Объект диагностирования рассматривается как преобразователь одних величин  $Y$ , которые вводятся в объект, – в другие величины  $X$ , которые являются реакциями объекта. Таким образом, работу объекта диагностирования можно представить [1]

$$X = A \cdot Y, \quad (1)$$

где  $X, Y$  – векторы соответственно выходных и входных величин;  
 $A$  – оператор объекта.

Если объект имеет конечное количество состояний  $K$ , то модель должна указывать изменение выходного сигнала при неизменном входном

$$X(i) = A(i) \cdot Y, \quad (2)$$

где  $A(i)$  – оператор объекта диагностирования в случае  $i$ -го отказа.

Объект диагностирования имеет точки контроля, если при единичном тестовом воздействии  $y_j$ , называемом элементарной проверкой  $P_j$ , на выходе у объекта диагностирования имеется реакция  $R_j^{(i)}$

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)} y_j, \quad (3)$$

где  $A_j^{(i)}$  – оператор объекта диагностирования тормозной системы или ее элемента при проведении  $P_j$ -й проверки и  $i$ -м отказе.

Если такое уравнение будет задано для всей совокупности проверок и отказов, то это будет явная диагностическая модель объекта [5].

Наиболее простой формой представления модели является таблица состояний [2]. Она строится следующим образом. Каждому отказу соответствует состояние  $S_i$ . Поэтому столбцы соответствуют состояниям, а строки –  $P_j$  элементарным проверкам. В клетки таблицы  $(i, j)$  заносится результат  $R_j^{(i)}$ . В первом столбце  $S_0$  записываются реакции объекта контроля на проверки при его исправном состоянии.

Если значения входа и выхода обозначить двойными логическими переменными, то они будут принимать значения «1», когда они допустимы, и «0» – когда недопустимы. Значения  $R_j^{(i)}$  в таблице состояний будут принимать значения «0» или «1» в зависимости от состояния объекта.

Построение таблицы состояний происходит в несколько этапов. Первоначально рассматривается и анализируется функциональная схема объекта диагностирования. Здесь же необходимо принять решение о необходимости включения в формируемую логическую модель каждого из элементов функциональной схемы. Если элемент не влияет на работу схемы, то его можно исключить из дальнейшего рассмотрения. Тем более что такие неисправности, как негерметичность, легко обнаруживаются оптически.

Далее строится структурная схема тормозной системы автомобиля, представленная на рисунке 1, по следующим формальным правилам:

- если какой-либо входной (выходной) сигнал блока характеризуется несколькими параметрами, то каждый из этих параметров обозначается отдельным входом (выходом);
- все блоки обозначаются  $P_i$ , входы –  $Z_i$ , выходы –  $X_i$ ;
- если выход какого-либо блока, являющийся входом в другой блок, расщепляется на несколько выходов, то вход также расщепляется на такое же количество входов.

Функциональная схема тормозной системы автомобиля будет состоять из 11 блоков:  $P_1$  – бачок главного цилиндра;  $P_2$  – вакуумный усилитель;  $P_3$  – главный цилиндр;  $P_4, P_5$  – тормозные механизмы передней оси;  $P_6$  – регулятор давления;  $P_7, P_8$  – тормозные механизмы средней оси;  $P_9$  – рычаг привода колодок;  $P_{10}, P_{11}$  – тормозные механизмы задней оси.

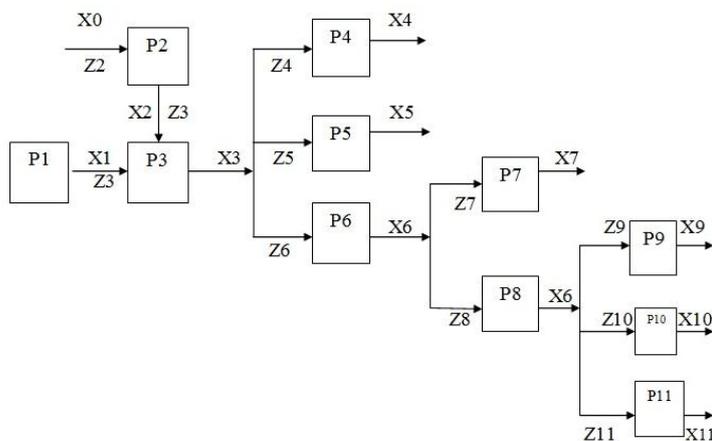


Рис. 1. Структурная схема гидравлической тормозной системы

Логическая модель получается на основе структурной (рис. 2). При этом необходимо соблюдать следующие формальные правила [6]:

- а) блоки  $P_i$  заменяются на  $Q_i$ ;
- б) если блок  $P_i$  имеет несколько выходов, то он заменяется таким же количеством блоков, каждый из которых имеет один выход и существенные для него входы;
- в) выходы и входы блоков представляются как  $X_i$ .

После построения логической модели объекта контроля необходимо для каждого ее блока записать уравнения типа (3), но так как они записываются для логической схемы, а не для функциональной, то их записывают в немного отличающемся виде

$$X_i = Q_i \cdot F_i, \quad (4)$$

где  $Q_i$  – оператор  $i$ -го логического объекта, принимаем значение «0», если блок неработоспособен, и «1», если блок работоспособен;  $F_i$  – функция условий работы  $i$ -го блока, тоже принимаем значение «0» или «1». Функция условий работы  $F_i$  по своей сути есть произведение значений входов в  $Q_i$  блок.

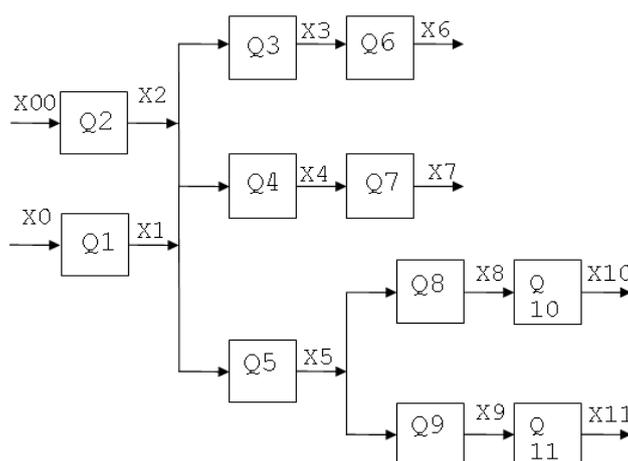


Рис. 2. Логическая модель гидравлической тормозной системы автомобиля

Для тормозной системы уравнение (4) запишется:

- $X_1 = Q_1 \cdot X_0$ ;
- $X_2 = Q_2 \cdot X_{00}$ ;
- $X_3 = Q_3 \cdot X_1 \cdot X_2$ ;
- $X_4 = Q_1 \cdot X_1 \cdot X_2$ ;
- $X_5 = Q_1 \cdot X_1 \cdot X_2$ ;
- $X_6 = Q_6 \cdot X_3$ ;
- $X_7 = Q_7 \cdot X_4$ ;
- $X_8 = Q_8 \cdot X_5$ ;
- $X_9 = Q_9 \cdot X_5$ ;
- $X_{10} = Q_{10} \cdot X_8$ ;
- $X_{11} = Q_{11} \cdot X_9$ .

Первый столбец ( $S_0$ ), соответствующий исправному состоянию, заполняется по уравнению (4) из условия, что все блоки исправны ( $Q_i = 1$ ) и все входы допустимы ( $X_i = 1$ ) для  $i = 1, n$ . Второй столбец ( $S_1$ ) заполняется уравнениями (3), (4) при условии, что блок  $Q_1$  неисправен, т.е.  $Q_1 = 0$ , а все остальные – исправны (т.е.  $Q_i = 1$  для всех  $i = 2, n$ ). Аналогично заполняются 3-й и последующие столбцы (табл. 1).

Таблица состояний для тормозной системы

	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>
П <sub>1</sub>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
П <sub>2</sub>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
П <sub>3</sub>	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
П <sub>4</sub>	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
П <sub>5</sub>	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
П <sub>6</sub>	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
П <sub>7</sub>	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1
П <sub>8</sub>	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
П <sub>9</sub>	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
П <sub>10</sub>	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
П <sub>11</sub>	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0

Для разработки алгоритма оценки вида технического состояния объекта контроля (работоспособное или неработоспособное) необходимо определить минимальную проверяющую совокупность точек контроля. Она равна наименьшему числу строк таблицы состояний, содержащих нулевые значения выходов для всех возможных состояний  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . И тогда, после проведения этих проверок применяются следующие правила: если хотя бы одна из проверок даст значение «0» (диагностический параметр будет иметь значение, превышаемое допустимое), то система имеет неисправность. Если все проверки дадут значение «1», то это может быть лишь в случае  $S_0$ , когда система работоспособна [2].

Выявив эти проверки, необходимо вернуться через логическую и структурную модели к функциональной схеме и указать, на выходе каких элементов необходимо измерять выбранные диагностические параметры.

Для составления алгоритма поиска отказа, близкого к оптимальному, необходимо использовать методы теории информации, где в качестве ведущей функции используется количество информации, содержащееся в проверке. Каждая проверка системы охлаждения содержит некоторое количество информации о состоянии системы

$$I_{Пj} = H(S) - H(S/Пj), \quad (5)$$

где  $H(S)$  – полная неопределенность техсостояния гидравлической системы тормозов;  $H(S/Пj)$  – оставшаяся неопределенность состояния тормозной системы после выполнения элементарной проверки.

Поиск отказа начинается с проверки, несущей наибольшее количество информации. Наибольшую информацию имеет проверка, проверяющая  $m$  элементов с суммарной вероятностью различаемых отказов, равной 0,5. После проведения проверки, при которой контролируется  $m$  блоков системы, могут быть два случая:

а) отказ фиксируется. Тогда он содержится в каком-нибудь из элементов  $i = 1, m$  (в табл. 1 в строке  $П_j$ -й проверки – нули);

б) отказ не фиксируется. Тогда он не содержится в элементах  $i = 1, m$  (в табл. 2 в строке  $П_j$ -й проверки – единицы).

Далее рассматриваются две таблицы: первая включает в себя столбцы, в которых были нули при проведении первой проверки и все проверки (строки), за исключением проведенной; вторая включает столбцы, в которых были единицы и все строки (проверки), за исключением проведенной. По каждой из таблиц выбирается проверка по тем же правилам. Суммарная вероятность выявляемых отказов должна быть наиболее близка к 0,5. Процедура приведена на рисунке 3, повторяется до отыскания отказов всех элементов системы охлаждения.

Вероятности состояний  $S_1, S_2, \dots, S_n$  выбираются из следующих условий: вероятность отказа для вакуумного усилителя  $P_2 = 0,15$ ; главного цилиндра  $P_3 = 0,15$ ; регулятора давления  $P_6 = 0,16$ . Вероятности остальных состояний принимаются одинаковыми по выражению [4]

$$P_i = \frac{1 - \sum P_{ome}}{m}, \quad (6)$$

где  $\sum P_{отв}$  – сумма вероятностей отказов основных элементов;  
 $m$  – количество оставшихся состояний (отказов).

Таким образом, вероятности отказа остальных элементов  $P_1 = P_4 = P_5 = P_7 = P_8 = 0,1$ . Сумма вероятностей всех состояний  $S_1, S_2, \dots, S_n$  равняется 1.

Таблица 2

Вероятности отказа элементов тормозной системы

P	0,1	0,15	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,08	0,08	0,1	0,1	1
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	P <sub>сум</sub>
П <sub>1</sub>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1
П <sub>2</sub>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,15
П <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,3
П <sub>4</sub>	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,3
П <sub>5</sub>	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0,3
П <sub>6</sub>	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,4
П <sub>7</sub>	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0,4
П <sub>8</sub>	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0,38
П <sub>9</sub>	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0,38
П <sub>10</sub>	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0,48
П <sub>11</sub>	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0,48

Далее строим дерево поиска отказа.

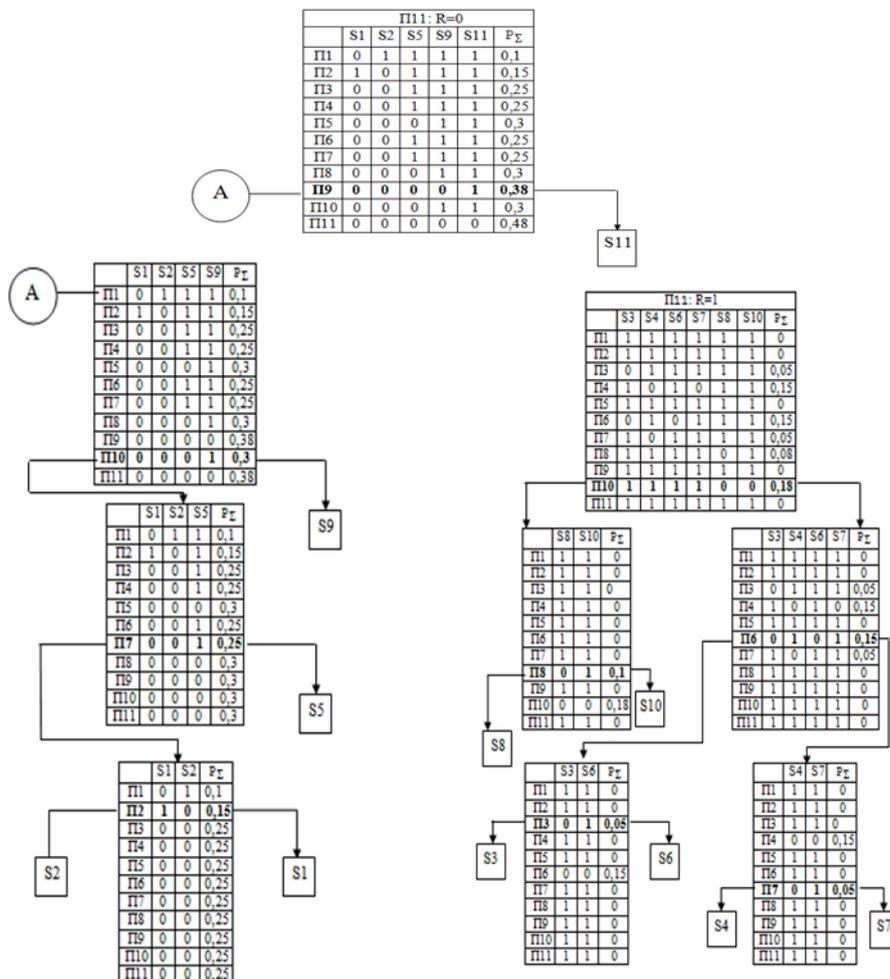


Рис. 3. Дерево поиска отказа в тормозной системе автомобиля

Полученное дерево поиска отказа представляется в виде алгоритма на рисунке 4, где в вершинах указываются проверки и исходящие из них исходы: реакция «0» и реакция «1».

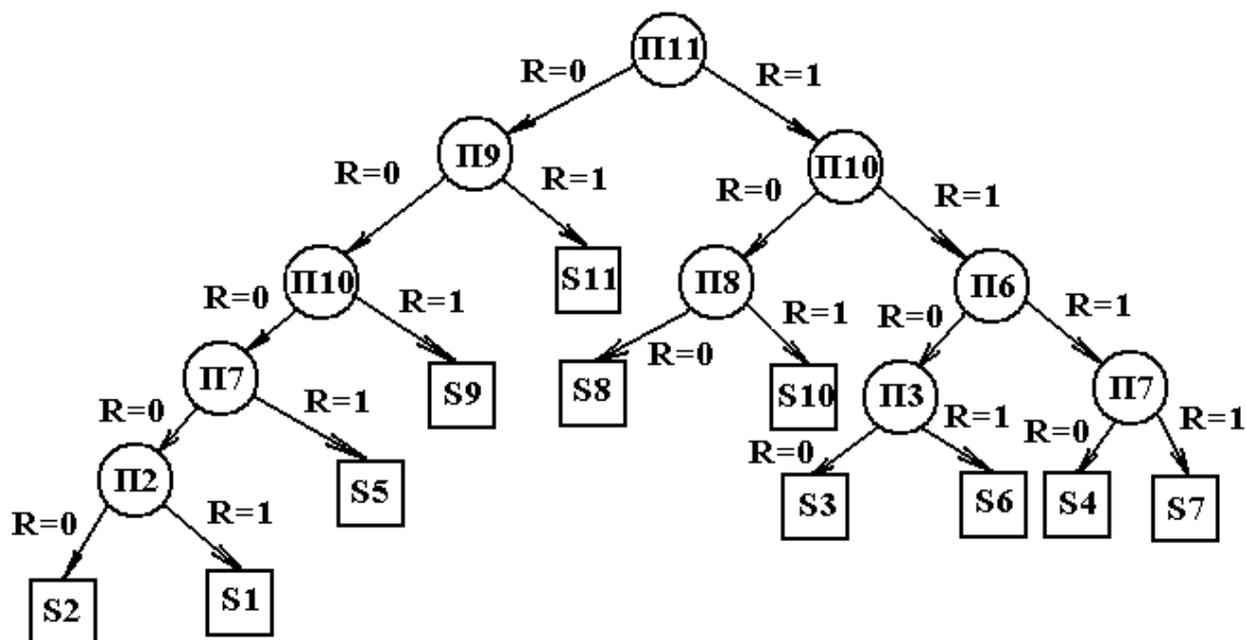


Рис. 4. Алгоритм поиска отказа в тормозной системе автомобиля

Для определения вероятности отказа элементов тормозных систем были предложены структурные и логистические модели гидравлической тормозной системы.

В результате решения задач по разработке алгоритма диагностирования и построения таблицы состояний тормозной системы получены дерево поиска отказа и алгоритм поиска отказа в тормозной системе МСХТ.

Данный метод диагностирования позволит более точно прогнозировать отказ и за более короткий срок совершать диагностику гидравлической тормозной системы

**Выводы.** Из сказанного выше следует, что, во-первых, применение данного метода диагностирования позволяет более точно определить неисправности; во-вторых, целесообразность ремонта узлов будут определяться алгоритмом поиска отказа.

### Литература

1. Диагностика и техническое обслуживание машин: учеб. / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов [и др.]. – М.: Академия, 2008. – 108 с.
2. Борц А.Д., Закин Я.Х., Иванов Ю.В. Диагностика технического состояния автомобиля. – М.: Транспорт, 1979. – 158 с.
3. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники / Н.В. Бышов, С.Н. Борьчев, И.А. Успенский [и др.] // Науч. журн. КубГАУ. – 2013. – № 86 (02).
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
5. Калявин В.П. Основы теории надежности и диагностики. – СПб.: Элмор, 1998. – 172 с.
6. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

