

---

УДК 629.3

*С. А. Рынкевич, И. Ю. Хадкевич*

---

**МЕТОДИКА СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

---

UDC 629.3

*S. A. Rynkevich, I. Y. Khadkevich*

---

**THE PROCEDURE OF ALGORITHMS SYNTHESIS FOR DIAGNOSING  
HYDRAULIC SYSTEMS OF MOBILE MACHINES**

---

**Аннотация**

В статье приведена методика синтеза алгоритмов диагностирования гидравлических систем мобильных машин. Разработаны основные этапы построения этих алгоритмов. Даны основы оценки работоспособности мобильных машин и их механизмов. Приведены структурные блок-схемы алгоритмов диагностирования гидравлических систем и других механизмов мобильных машин. Представлены рекомендации по практическому использованию алгоритмов в автомобильной микроэлектронике.

**Ключевые слова:**

алгоритм, диагностирование, гидравлическая система, мобильная машина.

**Abstract**

The paper gives the procedure of the synthesis of algorithms for diagnosing hydraulic systems of mobile machines. Basic stages of the construction of these algorithms have been developed. The fundamentals of the evaluation of the operating capacity of mobile machines and mechanisms are presented. Structural block diagrams of the algorithms for diagnosing hydraulic systems and other mechanisms of mobile machines are given. The paper presents recommendations for the practical use of the algorithms in automotive microelectronics.

**Key words:**

algorithm, diagnosing, hydraulic system, mobile machine.

---

Сущность методики синтеза алгоритма диагностирования заключается в следующем. На начальном этапе на основе данных производится анализ диагностической информации, оцениваются значения диагностических параметров и их динамика. При этом проверяется общее техническое состояние гидравлической системы (ГС) и ее элементов. Исходя из анализа условий работоспособности выявляется, находятся ли значения диагностических параметров в допустимых пределах. Техническое состояние ГС может быть работоспособным или неработоспособным в соответствии с методикой, изложенной в [1].

Продолжение проверки заключается в том, что для работоспособного состояния ГС проводится контроль запаса работоспособности и прогнозируется техническое состояние, выявляется остаточный ресурс [1]. В случае, если ГС окажется неработоспособным, проводится поиск и локализация неисправностей с выдачей технического диагноза. На информационной панели оператора выводится необходимое сообщение или заключение о техническом диагнозе (рис. 1).

Диагностирование ГС мобильных машин, оснащенных бортовой микроэлектроникой, как совокупность раз-

личных процедур может быть дифференцировано в зависимости от уровней, видов и характеров решаемых задач. Уровни создания систем активного диагностирования начинаются с простых комбинаций приборов контроля и ин-

формационных панелей до сложных интеллектуальных систем [2].

При диагностировании возможны различные действия по формированию диагноза (рис. 2).

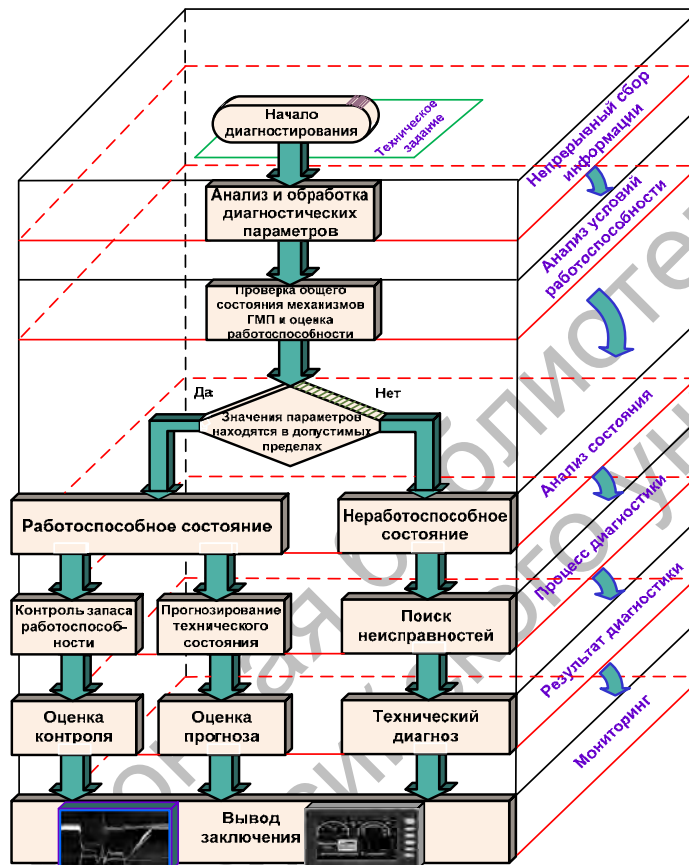


Рис. 1. Алгоритм оценки технического состояния объекта

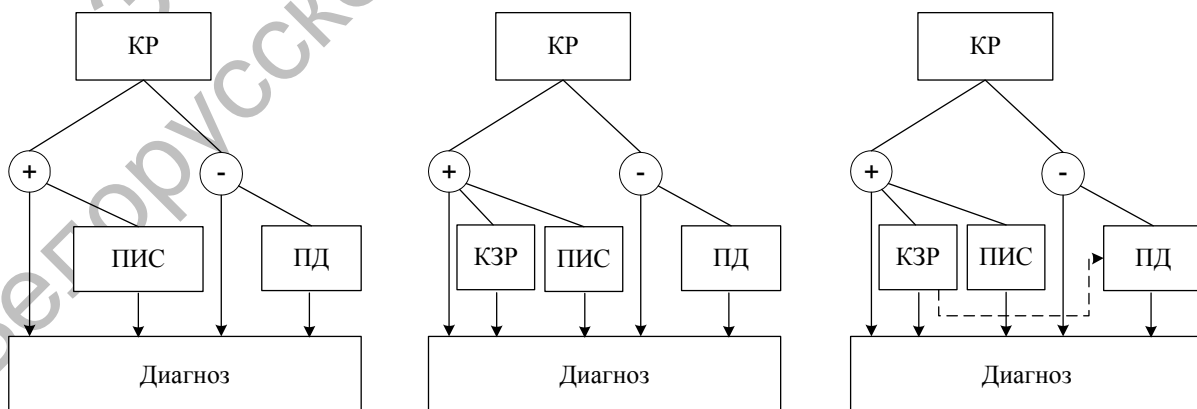


Рис. 2. Варианты схем постановки диагноза: КР – контроль работоспособности; ПИС – прогнозирование изменения состояния; ПД – поиск дефекта; КЗР – контроль запаса работоспособности; «+» – положительный результат КР; «-» – отрицательный результат КР

Синтез алгоритмов является заключительным этапом исследований и позволяет создать электронную систему активного диагностирования ГМП, основы построения которой на различных этапах развития технической диагностики заложены в [1]. Для построения алгоритмов диагностирования не существует жестких шаблонов. При этом учитываются требования и пожелания заказчиков и эксплуатирующих машину организаций.

Схема алгоритма способа интеллектуального диагностирования ГС и других механизмов мобильной машины представлена на рис. 3. Она содержит блоки инициализации запуска программы алгоритма, базы данных, фиксации и преобразования диагностических параметров, вычислительных операций, логических операций, операций диагностирования механизмов автомобиля, операций экспертной подсистемы, индикации и отображения информации.

Программа алгоритма реализуется посредством бортового электронного блока управления [1]. В блоке инициализации осуществляются операции организации циклического запуска программы на выполнение. При запуске программы на выполнение база данных загружается в оперативную память микропроцессора. В базе данных (блок 1) хранятся параметры характеристик управления механизмами автомобиля, параметры механизмов и параметры ограничений, используемые при реализации алгоритма диагностирования.

В каждом цикле обработки программы путем опроса датчиков осуществляется фиксация диагностических параметров (блок 2 алгоритма).

Для отображения состояния системы управления автомобилем на информационном табло используются следующие символы: **P** – стоянка автомобиля с работающим двигателем; **N** – нейтраль в коробке передач; **R** – передача реверса; **D** – движение на

автоматическом режиме переключения передач; **C** – движение на командном режиме. Конфигурация и размеры символов должны соответствовать СТБ ИСО 2575-2001. Символ **P** должен быть красного цвета, а символы **N**, **R**, **D** и **C** – зеленого [1].

Информационное табло постоянно содержит информацию о номере включенной передачи, состоянии блокирования гидротрансформатора и др.

В качестве индикаторов главного информационного экрана в соответствии с ГОСТ ИСО 2575-2005 разработаны пиктограммы приборных панелей. Основные диагностические параметры отображаются на главной странице приборной панели.

Рассмотрим работу алгоритма диагностирования (см. рис. 3).

В каждом цикле осуществляется опрос датчиков, считывается информация о режиме работы автомобиля, состоянии его органов управления (блок 2), проверяется общее состояние функционирования механизмов и подсистем автомобиля (блок 3). Если все параметры находятся в допустимых пределах, то на дисплее (табло) выдается сообщение о полной исправности машины (блок 5).

В случае выхода значений некоторых параметров за допустимые пределы с привлечением базы знаний экспертной системы, которая может быть представлена, например, в декларативной или продукционной форме [2], осуществляется поиск механизма или подсистемы, в которых имеется неисправность (блок 6).

При этом индикатору локализации неисправностей **M** присваивается определенное значение от 1 до 9, в соответствии с которым диагностируется предположительно неисправный механизм. Если индикатору **M** присвоено несколько значений, то поиск неисправностей осуществляется одновременно по нескольким ветвям алгоритма.

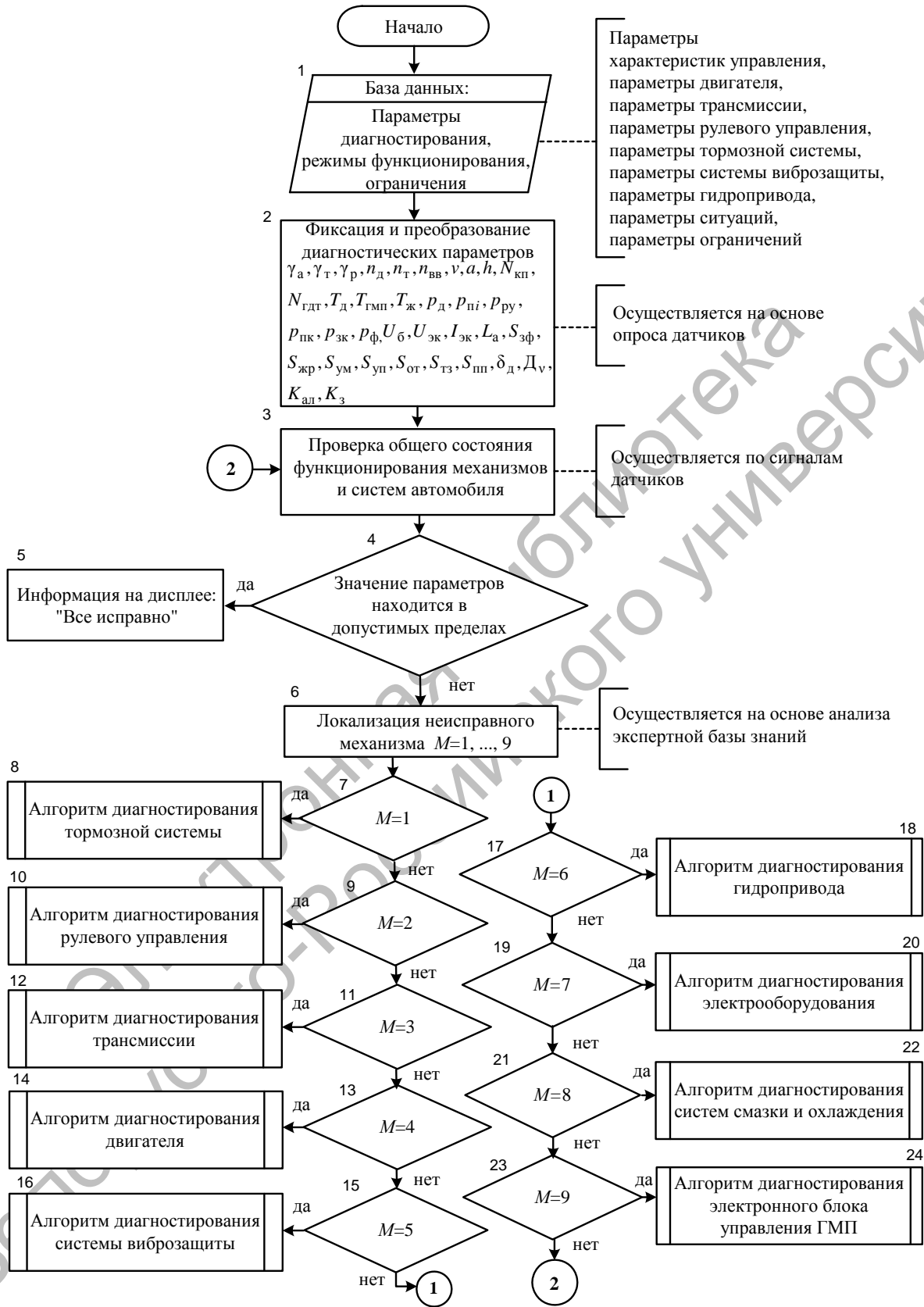


Рис. 3. Алгоритм системы диагностирования

Рассмотрим работу системы активного диагностирования при возникновении неисправностей отдельного механизма.

Предположим, на основе анализа базы знаний ИСД выяснила, что предположительно неисправный механизм – система гидропривода автомобиля. При этом  $M = 6$  (рис. 3, блок 17). Далее процесс диагностирования будет продолжаться по ветви алгоритма, начиная с блока 18 «Проверка состояния гидропривода» (рис. 4).

После анализа значений диагностических параметров в случае обнаружения их выхода за допустимые пределы осуществляется проверка состояния гидропривода ГМП. Если ответ на вопрос блока «Значения параметров в допустимых пределах?» отрицателен, производится проверка работоспособности гидропривода и определяется общее состояние гидросистем. Обнаружив неисправные элементы, система анализирует возникшие симптомы по их проявлениям. Одновременно информация адресуется ветви **I** алгоритма работы подсистемы нечеткой логики (рис. 5) и ветви **II** базы знаний экспертной системы (рис. 6). С привлечением интеллектуальных методов распознавания и технологии экспертных систем распознаются типовые ситуации, выявляются неисправности и причины их возникновения.

Последовательно оценивается техническое состояние гидроаппаратов: насоса, распределителей, предохранительных клапанов, гидроцилиндров, фильтров и других элементов гидропривода (см. рис. 4).

По аналогичной схеме работает алгоритм диагностирования при возникновении любой другой неисправности того или иного механизма машины.

На рис. 5 показана ветвь **I** алгоритма работы подсистемы нечеткой логики. Обращение к этой ветви происходит каждый раз, когда диагностированию подлежит тот или иной элемент или меха-

низм системы. На основе сформированной базы функций принадлежности, описывающей вектор диагностических параметров  $\vec{X}_D = (x_{D1}, \dots, x_{Di})$ , а также продукционных правил нечеткой логики вида *Если  $\tilde{A}_j$ , то  $\tilde{B}_j$*  осуществляются процедуры фаззификации и дефаззификации, в результате чего выводится выходное решение. На его основе формируется предварительный технический диагноз  $\vec{D} = \{L(e_i, S_i), \vec{X}_D\}$  [1].

После поступления информации от ветви **II** алгоритма (см. рис. 6) и сравнения полученного диагноза с информацией экспертной системы принимается решение либо об установлении окончательного диагноза с выводом его на дисплей или печать, либо (в случае расхождения диагнозов) об уточнении базы данных нечеткой логики, коррекции продукционных правил, их весовых коэффициентов и характеристик функций принадлежности [2].

Ветвь алгоритма экспертной системы **II** (см. рис. 6) работает следующим образом. В базе данных экспертной системы содержится описание неисправностей и причин их возникновения, представленное, например, в матричном виде, а также информация о типовых отказах, их проявлениях и соответствующих им ситуациях.

При поступлении запроса от основной ветви алгоритма диагностирования осуществляется логический вывод по совокупности продукционных правил «Если ... то», и в соответствии с ним результат предварительного анализа причин технической неисправности передается требуемой ветви диагностирования соответствующего механизма (в рассматриваемом примере – ветви алгоритма диагностирования гидропривода). При необходимости информация экспертной системы может быть визуализирована на панели оператора или водителя.



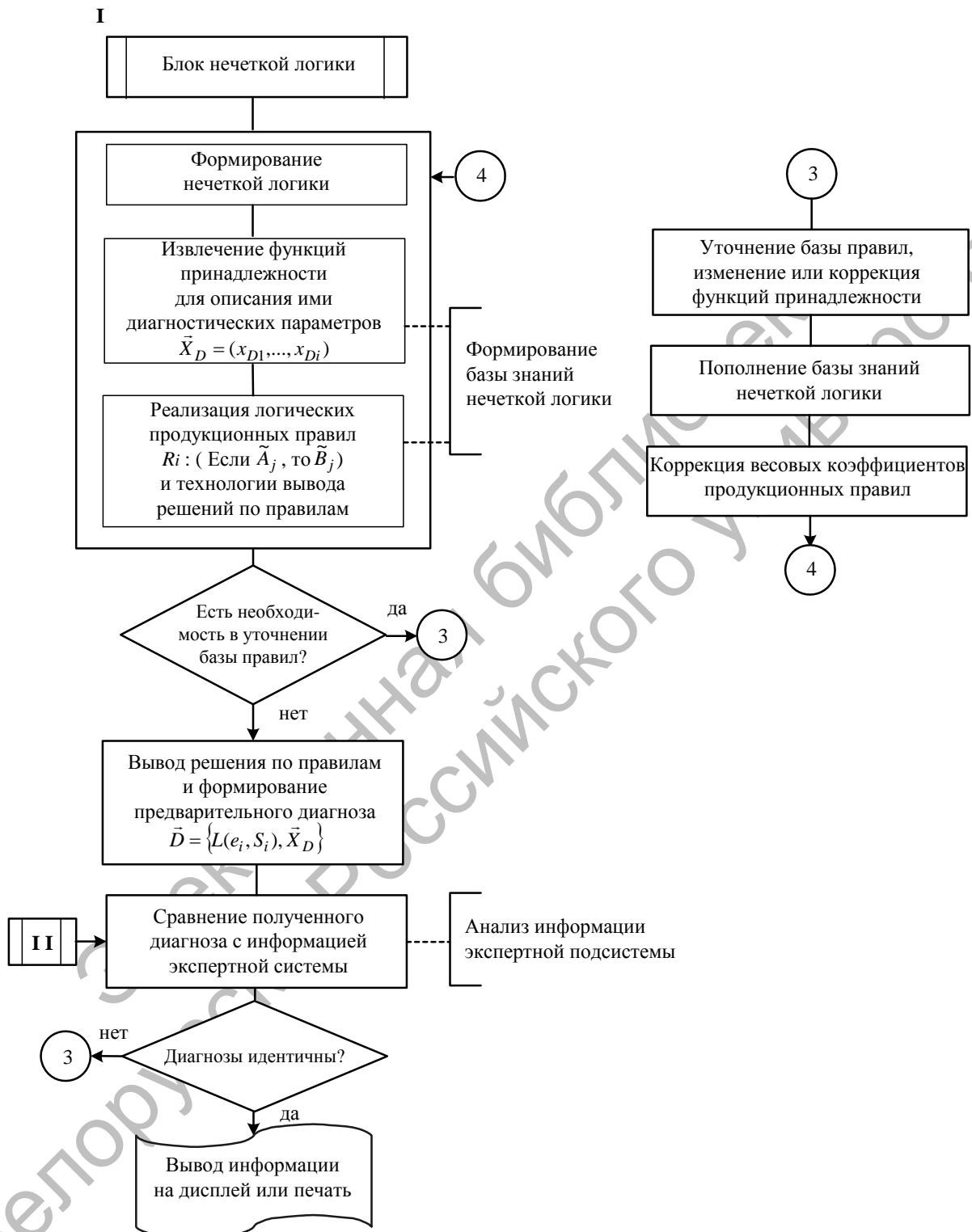


Рис. 5. Алгоритм подсистемы диагностирования на основе метода нечеткой логики

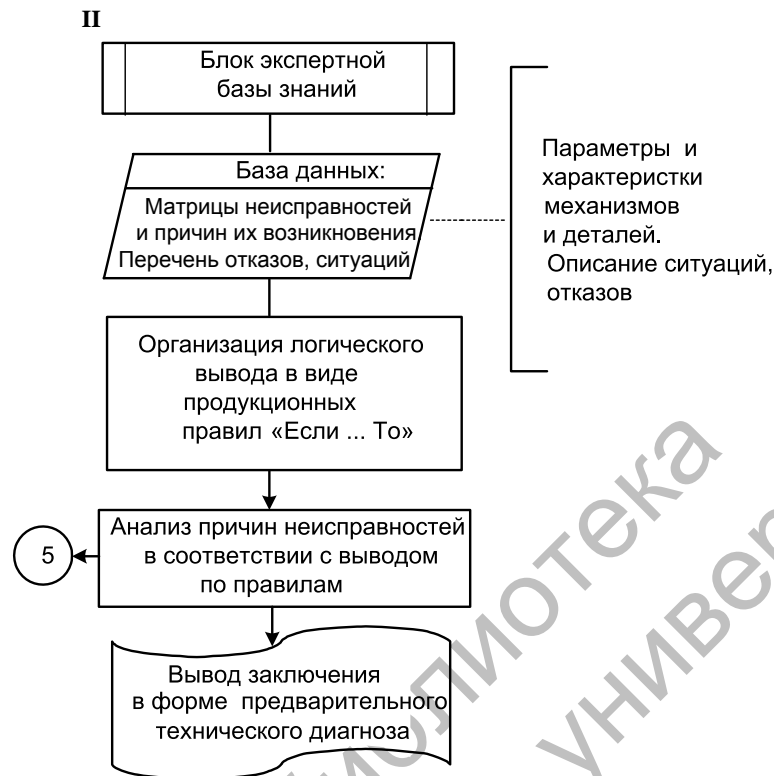


Рис. 6. Алгоритм работы блока экспертной базы знаний

Для выявления и локализации неисправностей датчиков используются специализированные алгоритмы. Так, при неисправности любого из датчиков формируется сигнал  $D_v = 1$ , который отображается на информационном табло. По соответствующему запросу можно получить информацию о том, какой конкретно датчик неисправен. Если неисправен датчик частоты вращения выходного вала коробки передач  $n_{ВВ}$ , формируются сигналы  $D_{пов} = 1$  и  $F_{авт} = 0$ .

По первому сигналу прекращается выполнение алгоритма формирования сигналов автоматического управления переключением передач. По второму сигналу отключается автоматический режим управления, осуществляется переход на командное управление, и по сигналу  $D_v = 1$  реализуется алгоритм программного управления фрикционами коробки передач.

Разработан алгоритм диагностирования ГМП с поэлементным анализом,

который использован на ОАО БелАЗ [1].

Общая схема алгоритма диагностирования ГС и трансмиссии мобильной машины представлена на рис. 7.

Программа алгоритма средствами бортовой электронной системы реализуется следующим образом.

При инициализации осуществляются операции организации циклического запуска программы на выполнение. При запуске программы на выполнение база данных загружается в оперативную память микропроцессора. В базе данных хранятся параметры характеристик управления механизмами машины (двигателя, трансмиссии и др.), параметры гидропривода и элементов ГС, параметры ограничений и допустимых значений, используемые при реализации алгоритма диагностирования. В каждом цикле отработки программы путем опроса датчиков осуществляется фиксация диагностических параметров, а также поэлементная проверка исправности ГС.



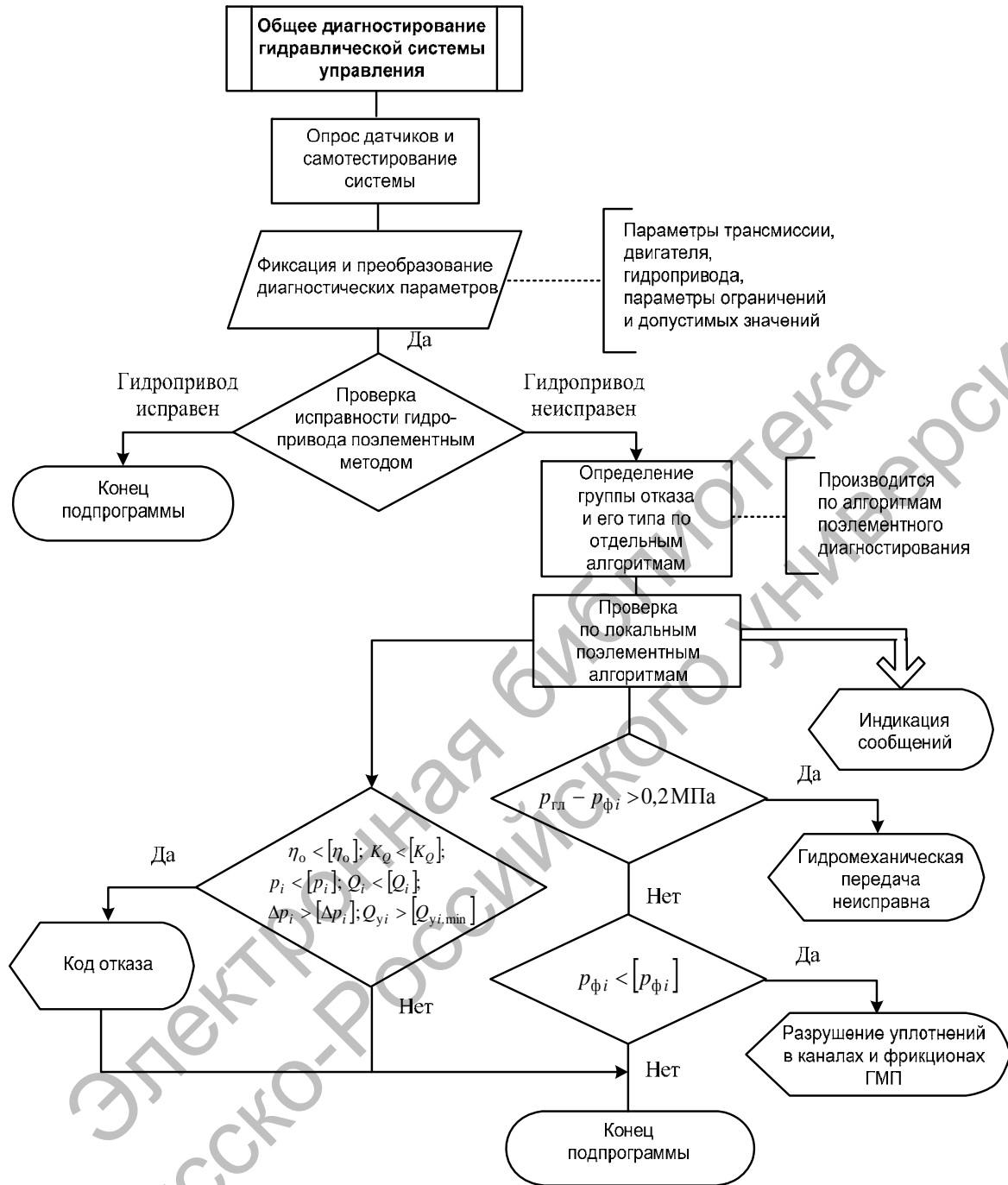


Рис. 7. Алгоритм общего диагностирования ГМП

Для поиска отказов и локализации неисправностей используются специальные подпрограммы поэлементного поиска неисправностей (насоса, фильтров, распределителей и т. д.). Эти подпрограммы представлены отдельными алгоритмами, которые приведены ниже. При этом проверя-

ются условия оценки работоспособности [1]. В случае выполнения одного из условий на индикаторной панели выдается соответствующее сообщение. Кроме того, данной неисправности присваивается определенный код. Например, при выполнении условия  $T_{ГДТ} > T_{ГДТ \max}$  выдается сообщение

«Перегрев рабочей жидкости в ГДТ», при выполнении условия  $p_{гд} - p_{ф} > 0,2$  МПа – сообщение «ГС неисправна по причине засорения масляного фильтра в главной магистрали». Тип и форма выдаваемого сообщения о неисправности определяются возможностями индикаторной электронной панели.

Целесообразно также разрабатывать алгоритмы диагностирования и прогнозирования технического состоя-

ния основных элементов машины и ГС: насоса, гидрораспределителей, клапанов давления, фильтров. Эти алгоритмы должны быть основаны на учете получаемых в процессе научных исследований закономерностей изменения амплитуд пульсаций давления и расходов жидкости, КПД и ряда других диагностических параметров. При отклонении этих параметров от полученных предельно допустимых значений бортовая система выдаст управляющие сигналы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с. : ил.
2. Тарасик, В. П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.

*Статья сдана в редакцию 10 января 2014 года*

**Сергей Анатольевич Рынкевич**, д-р техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: rynkev@tut.by.

**Ирина Юрьевна Хадкевич**, аспирант, Белорусско-Российский университет.

**Sergey Anatolyevich Rynkevich**, DSc (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: rynkev@tut.by.

**Irina Yuryevna Khadkevich**, PhD student, Belarusian-Russian University.