



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

В.М. КОНШИН, С.Е. САБУРЕНКОВ

# **ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе по курсу  
«Техническая диагностика машин»

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(МАДИ)

Кафедра «Дорожно-строительные машины»

Утверждаю  
Зав. кафедрой профессор  
\_\_\_\_\_ Г.В. Кустарев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

В.М. КОНШИН, С.Е. САБУРЕНКОВ

# ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе по курсу  
«Техническая диагностика машин»

МОСКВА  
МАДИ  
2018

УДК 621.878.23  
ББК 39.311-06-05  
К652

**Коншин, В.М.**

К652      Диагностические модели строительных и дорожных машин: методические указания к лабораторной работе по курсу «Техническая диагностика машин» / В.М. Коншин, С.Е. Сабуренков. – М.: МАДИ, 2018. – 24 с.

В методических указаниях представлена методика диагностических моделей на примере моделей дизеля и гидропривода. Приведен порядок построения алгоритмов поиска дефекта.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», магистров 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиль «Сервис дорожно-строительных машин (СДМ)».

УДК 621.878.23  
ББК 39.311-06-05

---

Учебное издание

**КОНШИН** Виктор Михайлович  
**САБУРЕНКОВ** Сергей Евгеньевич

## **ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе по курсу  
«Техническая диагностика машин»

*Редактор В.В. Виноградова*

*Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio@madi.ru*

Подписано в печать 20.12.2018 г. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ      . Цена 55 руб.  
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64.

© МАДИ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ .....</b>	<b>7</b>
2.1. Построение диагностической модели дизельного ДВС .....	7
2.2. Построение диагностической модели гидропривода .....	11
<b>3. ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ДЕФЕКТА.....</b>	<b>15</b>
3.1. Виды алгоритмов.....	15
3.2. Критерии оптимизации построения условных алгоритмов поиска дефекта.....	15
3.3. Расчет информационных критериев .....	16
3.4. Пример построения условного алгоритма поиска дефекта в гидроприводе.....	18
<b>4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА .....</b>	<b>19</b>
<b>ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ .....</b>	<b>20</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>20</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>21</b>
Приложение 1. Номенклатура диагностических параметров.....	21
Приложение 2. Варианты заданий для построения диагностических моделей ДСМ.....	23

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания рекомендуются для обучающихся по направлению подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль «Сервис дорожно-строительных машин оборудования» и направлению подготовки магистров 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиль «Сервис дорожно-строительных машин (СДМ)», изучающих разделы дисциплин, связанные с диагностированием строительных и дорожных машин.

Выбор методов и средств диагностирования, разработка алгоритмов поиска дефекта в объекте диагностирования предполагают наличие диагностической модели объекта. **Диагностической моделью** объекта принято называть формальное описание данного объекта, характеризующее его как в исправном, так и в неисправном состоянии. Форма описания объекта может быть любой (аналитической, табличной, векторной и др.). В качестве примеров приведены функционально-структурные диагностические модели дизеля и системы гидропривода.

### 1. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Узлы и системы СДМ имеют ряд особенностей: отсутствие статистических данных об изменении технического состояния объекта во времени, большое количество составных частей объекта и трудоемкость экспериментов по установлению степени их взаимного влияния, непрерывное совершенствование и изменение конструкции. С учетом этих особенностей может быть построена функционально-структурная диагностическая модель. Модель представляет собой объект диагностирования как систему со взаимно связанными параметрами (рис. 1).

Элементы модели представляют собой  $m$  различных состояний параметров объекта. В данном случае под термином, например, «состояние  $n + 1$ », подразумевают отказ всего объекта по причине отклонения от нормы  $n + 1$  параметра. Параметры состояния объекта (струк-

турные, прямые и косвенные) распределены по различным иерархическим уровням с учетом их влияния на интегральный параметр состояния объекта, являющийся вершиной граф-дерева. Элементы модели каждого уровня должны быть взаимно независимыми, зависеть от элементов нижнего уровня и влиять на элемент вышестоящего уровня.

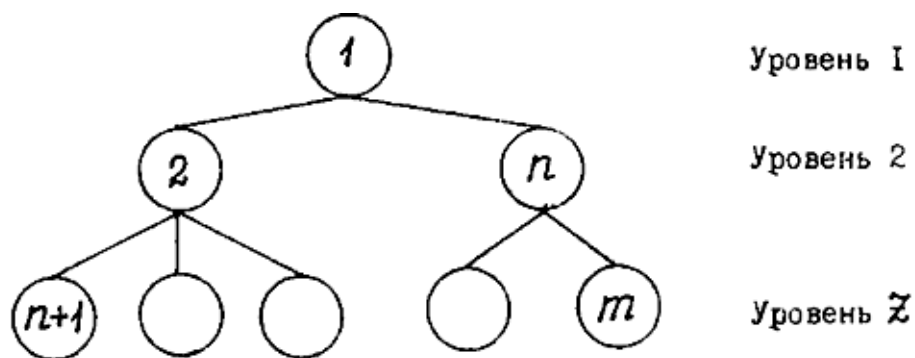


Рис. 1. Функционально-структурная диагностическая модель

При построении модели принято следующее ограничение: в диагностируемом объекте одновременно может присутствовать только один отказ. Такое допущение основано на том, что вероятность возникновения двух и более отказов в одной системе значительно меньше, чем вероятность одного отказа.

При построении диагностической модели можно выделить следующие этапы.

### **Этап 1. Подготовка к построению модели**

Перед построением диагностической модели системы необходимо тщательное изучение назначения системы, ее состава и взаимосвязи всех элементов. При изучении конструкции элементов модели (на натурных образцах, чертежах, плакатах и т.д.) необходимо обратить внимание на типичные возможные неисправности, прямые и косвенные признаки их проявления.

### **Этап 2. Выбор интегрального параметра состояния объекта диагностирования**

Интегральный параметр, как правило, может быть выбран исходя из назначения системы или узла СДМ. Если за интегральный па-

раметр принять один из мощностных показателей выходного исполнительного узла системы, целесообразно сопоставить его с затратами энергии или топлива.

При выборе данного показателя необходимо учитывать возможность его контроля современными измерительными приборами. В случае невозможности выбора единого интегрального показателя используют несколько интегральных показателей, характеризующих состояние объекта. В этом случае в качестве вершины граф-дерева используют элемент с условным названием «работоспособность объекта».

### ***Этап 3. Распределение элементов по группам влияния на соответствующие интегральные показатели***

Распределение элементов по группам производится с учетом структуры диагностируемой системы и конструкции ее узлов. При выборе параметров состояния в качестве элементов модели следует учитывать возможность их измерения.

### ***Этап 4. Распределение элементов модели по иерархическим уровням***

Номер иерархического уровня, на котором должен быть расположен элемент модели, находящийся между верхним и нижним уровнем, не нормируется. В то же время для удобства измерений наиболее целесообразно группировать по уровням однотипные показатели: мощностные, структурные и т.д. Каждый элемент промежуточных уровней должен зависеть не менее чем от двух нижерасположенных элементов. Независимые элементы (элементы, не имеющие нижерасположенных элементов) должны быть расположены на нижнем уровне.

### ***Этап 5. Выбор необходимого числа иерархических уровней***

Число уровней зависит от степени детализации причин возможного отказа (сборочные единицы, зазоры, износ и т.д.). Высокая степень детализации позволяет более полно описать происходящие в объекте явления. Однако для практических целей детализация огра-

ничена возможностями существующей диагностической аппаратуры и необходимой глубиной поиска дефекта, зависящей от вида и назначения диагностирования.

## **2. ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ**

### **2.1. Построение диагностической модели дизельного ДВС**

В качестве примера рассмотрим процесс построения диагностической модели условного дизельного ДВС.

#### ***Этап 1. Подготовка к построению модели***

Будем считать, что дизельный ДВС состоит из одного цилиндра с поршнем, газораспределительного механизма с выпускным и впускным клапанами (ГРМ), кривошипно-шатунного механизма (КШМ), топливной системы с топливным насосом высокого давления (ТНВД) и форсункой, системы смазки с насосом и фильтром, системы охлаждения с водяной помпой и радиатором.

Возникающие неисправности в системах дизельных ДВС обычно проявляются в виде отклонения от нормы выходной мощности, температуры охлаждающей жидкости, давления в системе смазки и вибрации корпуса в результате износа КШМ. Основными причинами снижения выходной мощности являются: нарушение герметичности камеры сгорания, снижение цикловой подачи форсунки, нарушение работоспособности секции ТНВД, отклонение от нормы величины угла опережения впрыска топлива. Герметичность камеры сгорания зависит от состояния цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и клапанов ГРМ, цикловая подача форсунки определяется величиной зазора игла-корпус форсунки и жесткостью пружины. Работоспособности ТНВД, характеризуемая величиной давления топлива, определяется зазорами в плунжерной паре и нагнетательном клапане. Повышение температуры охлаждающей жидкости может быть вызвано ее недостаточным уровнем, снижением производительности помпы или снижением охлаждающей способности радиатора. Снижение давления в системе смазки вызывается недостаточным уровнем масла, снижением производительности насо-



са или разрегулировкой перепускного клапана. Износ КШМ, вызывающий повышенную вибрацию, предполагает увеличение зазоров в шатунных подшипниках или в сопряжении поршневой палец-втулка.

### ***Этап 2. Выбор интегрального параметра***

Анализируя связь между основными неисправностями дизельного ДВС и их причинами, т.е. отказами конкретных деталей, можно отметить, что контроль за состоянием всех деталей данного дизельного ДВС путем измерения одного параметра невозможен. Полный контроль за исправностью всех основных узлов вызывает необходимость изменения мощности, температуры охлаждающей жидкости, давления в системе смазки и износа КШМ, поэтому эти показатели будем использовать в качестве интегральных параметров.

### ***Этап 3. Распределение элементов по группам***

Количество групп элементов модели – 4 определяется количеством выбранных интегральных параметров. Принадлежность элементов к группе определяется связью неисправностей с их причинами, рассмотренными на 1-м этапе.

### ***Этап 4. Распределение элементов по уровням***

На верхнем «нулевом» уровне расположим элемент с условным названием «состояние ДВС», зависящий от находящихся ниже 4-х интегральных параметров. Разместив под интегральными показателями причины их отклонения от нормы, получим 4 иерархические зависимости. Основываясь на причинно-следственной связи, рассмотренной на 1-м этапе, получим для параметра «Мощность ДВС» зависимость из 3-х уровней, для остальных интегральных параметров зависимости из 2-х уровней.

### ***Этап 5. Выбор необходимого числа уровней***

Число уровней модели определяется степенью детализации причин отклонения от нормы интегральных параметров. Для данного примера ограничимся детализацией причин, проведенной на 1-м эта-

пе. В этом случае получим диагностическую модель одноцилиндрового дизельного ДВС, состоящую из 3-х уровней, на которых расположены 23 элемента (рис. 2). Элементы модели имеют следующие обозначения: 0 – состояние ДВС; 1 – мощность; 2 – температура охлаждающей жидкости; 3 – давление в системе смазки; 4 – износ КШМ; 5 – герметичность камеры сгорания; 6 – цикловая подача форсунки; 7 – работоспособность ТНВД; 8 – угол опережения впрыска; 9 – воздухоподача; 10 – износ ЦПГ; 11 – износ клапанов; 12 – жесткость пружины; 13 – зазор игла-корпус форсунки; 14 – зазор плунжер-гильза; 15 – зазор в нагнетательном клапане; 16 – уровень охлаждающей жидкости; 17 – производительность помпы; 18 – охлаждающая способность радиатора; 19 – уровень масла; 20 – производительность насоса; 21 – разрегулировка перепускного клапана; 22 – зазор в шатунных подшипниках; 23 – зазор в сопряжении поршневой «палец-втулка».

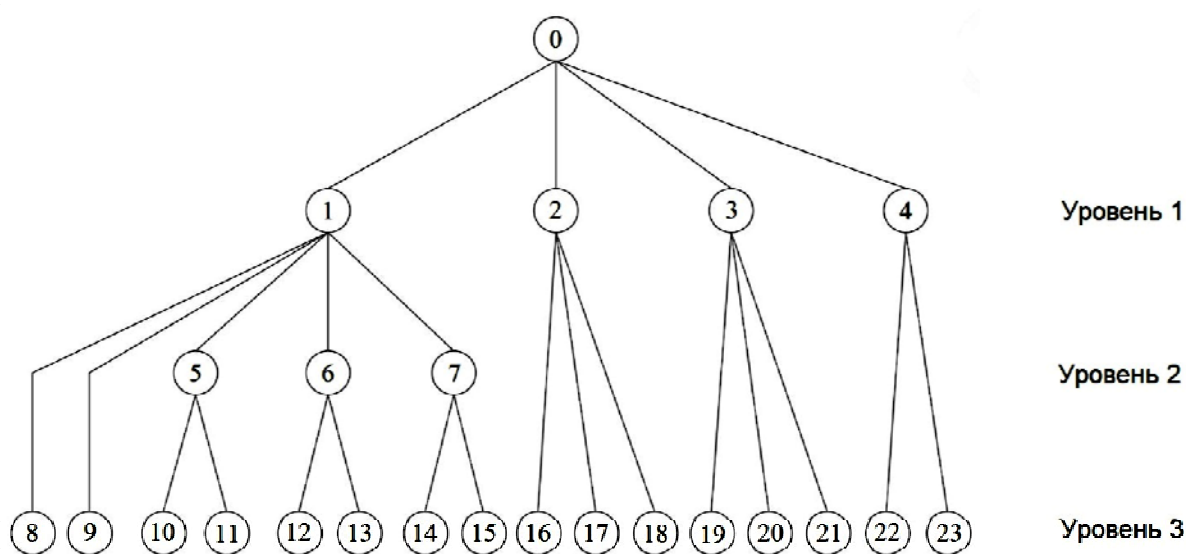


Рис. 2. Диагностическая модель дизеля

Для выбора косвенных параметров и построения алгоритмов поиска дефекта характеристики модели вносятся в табл. 1.

При составлении табл. 1, с учетом рис. 2 заполняют 1-й столбец. Столбцы 2-й и 3-й заполняют, используя прил. 1, справочную литературу и лекционный материал. Одновременно происходит составление списка косвенных параметров. Например, состояние элемента № 1 (мощность ДВС) определяется (см. прил. 1) при помощи измерения

углового ускорения частоты вращения коленчатого вала. В список косвенных параметров «Угловое ускорение» вносится под № 1. Тогда в табл. 1 прямому параметру № 1 соответствует косвенный параметр № 1. Время измерения этого параметра по сведениям из справочной литературы принимаем равным 5 мин. При составлении списка следует учитывать, что некоторые номера косвенных параметров могут быть использованы для определения состояния различных элементов модели (например, косвенные параметры 2, 4, 6).

Таблица 1

## Характеристики диагностической модели

Номер прямого параметра (элемента модели)	Номер соответствующего косвенного параметра	Априорное время изменения, мин
1	2	3
1	1	5
2	2	1
3	3	1
4	4	5
5	5	10
6	4	5
7	4	5
8	4	5
9	4	5
10	4	5
11	4	5
12	4	5
13	4	5
14	4	5
15	4	5
16	6	2
17	7	5
18	2	2
19	6	3
20	3	10
21	3	10
22	4	5
23	4	5

Список косвенных параметров для диагностирования ДВС:

- 1 – угловое ускорение;
- 2 – температура;

- 3 – давление масла;
- 4 – ВАП;
- 5 – давление газов;
- 6 – визуальный осмотр;
- 7 – натяжение ремня.

## 2.2. Построение диагностической модели гидропривода

В качестве второго примера рассмотрим процесс построения диагностической модели схемы гидропривода.

### **Этап 1. Подготовка к построению модели**

На рисунке 3 показана схема выполнения механической работы путем перемещения штоком гидроцилиндра рабочего органа дорожной машины (например, отвала бульдозера). Насос 1 шестеренного типа подает поток рабочей жидкости на вход 3-позиционного гидрораспределителя 4. В нейтральном положении гидрораспределителя 4. Давление в системе поддерживается минимальным с помощью разгрузочного клапана 3. Конструктивно разгрузочный клапан и гидрораспределитель выполнены в одном корпусе. Максимальное давление в системе ограничивается предохранительным клапаном 2. Исполнительным элементом является гидроцилиндр 5.

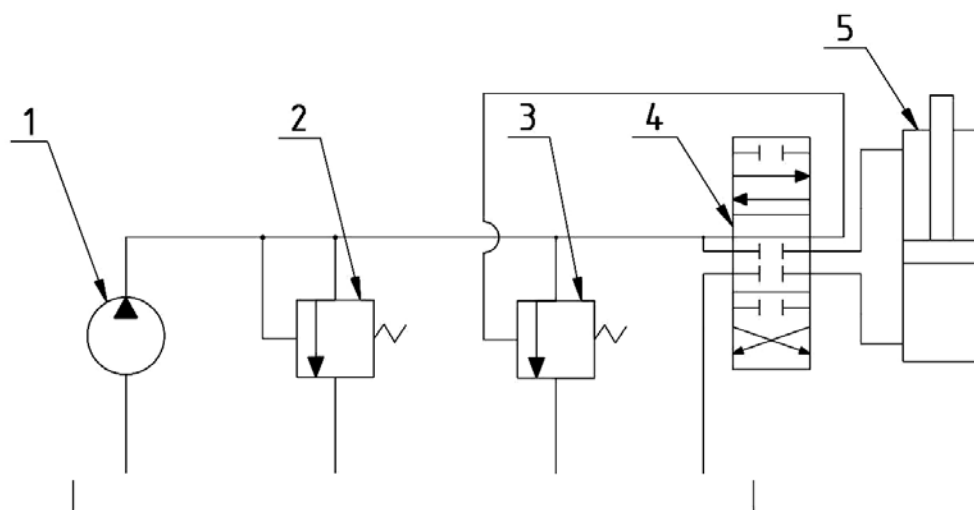


Рис. 3. Схема гидропривода: 1 – насос; 2 – предохранительный клапан; 3 – разгрузочный клапан; 4 – гидрораспределитель; 5 – гидроцилиндр

Основными неисправностями шестеренного насоса, снижающими его коэффициент подачи, являются износы торцевой поверхности и зубьев шестерен, износ уплотнений. Давление настройки предохранительного клапана может измениться вследствие разрегулировки и негерметичности сопряжения клапан-седло. Снижение объемного КПД гидрораспределителя может быть вызвано утечкой в золотниковой паре и негерметичностью разгрузочного клапана. Выходная мощность на штоке гидроцилиндра может снижаться из-за объемных и механических потерь. Причины объемных потерь: износ цилиндра, манжет и уплотнительных колец поршня и штока. Механические потери вызваны изгибом штока и деформацией стенок цилиндров.

### ***Этап 2. Выбор интегрального параметра***

Исходя из назначения схемы, выходными параметрами должны являться мощностные характеристики такие как усилие на штоке и скорость его перемещения. Однако в условиях эксплуатации контроль усилия на штоке вызывает необходимость значительного объема сборочно-разборочных работ. Снизить трудоемкость измерений можно путем измерения скорости нарастания усилий на штоке гидроцилиндра при втягивании штока «до упора». Это позволит косвенно оценить состояние всех регулирующих и исполнительных элементов гидросхемы. Таким образом, за интегральный параметр принимаем скорость нарастания усилия на штоке гидроцилиндра.

### ***Этап 3. Распределение элементов по группам***

Анализируя работу схемы, можно отметить, что на интегральный параметр в первую очередь влияет состояние исполнительного элемента и величина подводимой к нему мощности. Состояние гидроцилиндра в целом может определяться усилием на штоке, а величина подводимой мощности – гидравлической мощностью потока рабочей жидкости, выходящей из распределителя. Гидравлическая мощность зависит от коэффициента подачи насоса, давления настройки предохранительного клапана и объемного КПД гидрораспределителя. Дальнейшая структурная зависимость строится с учетом причин неисправностей, перечисленных на 1-м этапе.

#### **Этап 4. Распределение элементов по уровням**

Размещая под интегральным показателем причины его изменения, получаем иерархическую зависимость. В данном примере цепочка причин отклонения интегрального показателя, начинающаяся с гидравлической мощности, состоит из 3-х уровней. Причины выхода из строя гидроцилиндра расположены на 2-х уровнях. Учитывая однотипность показателей, расположим объемные и механические потери в гидроцилиндре на одном уровне с объемным КПД гидрораспределителя, давлением настройки предохранительного клапана и коэффициентом подачи насоса.

#### **Этап 5. Выбор необходимого числа уровней**

На нижнем уровне данной модели расположены параметры, в основном характеризующие износ деталей. Более подробная детализация причин отклонения от нормы интегрального показателя для целей диагностирования в условиях эксплуатации нецелесообразна. Расположив на верхнем уровне № 1 интегральный показатель, получаем диагностическую модель схемы гидропривода, состоящую из 4-х уровней, на которых расположен 21 элемент (рис. 4). Элементы модели имеют следующие обозначения: 1 – скорость нарастания усилия на штоке; 2 – гидравлическая мощность на выходе из гидрораспределителя; 3 – коэффициент подачи насоса; 4 – давление настройки предохранительного клапана; 5 – объемный КПД гидрораспределителя; 6 – объемные потери в гидроцилиндре; 7 – механические потери в гидроцилиндре; 8 – износ торцевой поверхности шестерен; 9 – износ зубьев шестерен; 10 – износ уплотнений; 11 – разрегулировка; 12 – негерметичность сопряжения клапан–седло; 13 – утечки в золотниковой паре; 14 – утечки через разгрузочный клапан; 15 – износ манжет поршня; 16 – износ уплотнительного кольца поршня; 17 – износ манжет штока; 18 – износ уплотнительного кольца штока; 19 – износ цилиндра; 20 – изгиб штока; 21 – деформация стенок цилиндра.

Аналогично приведенному выше примеру (п. 2.1) составляют табл. 2 с характеристиками диагностической модели гидропривода и списком косвенных параметров.

Список косвенных параметров для диагностирования гидропривода:

- 1 – усилие;
- 2 – расход;
- 3 – давление;
- 4 – ВАП;
- 5 – визуальный осмотр.

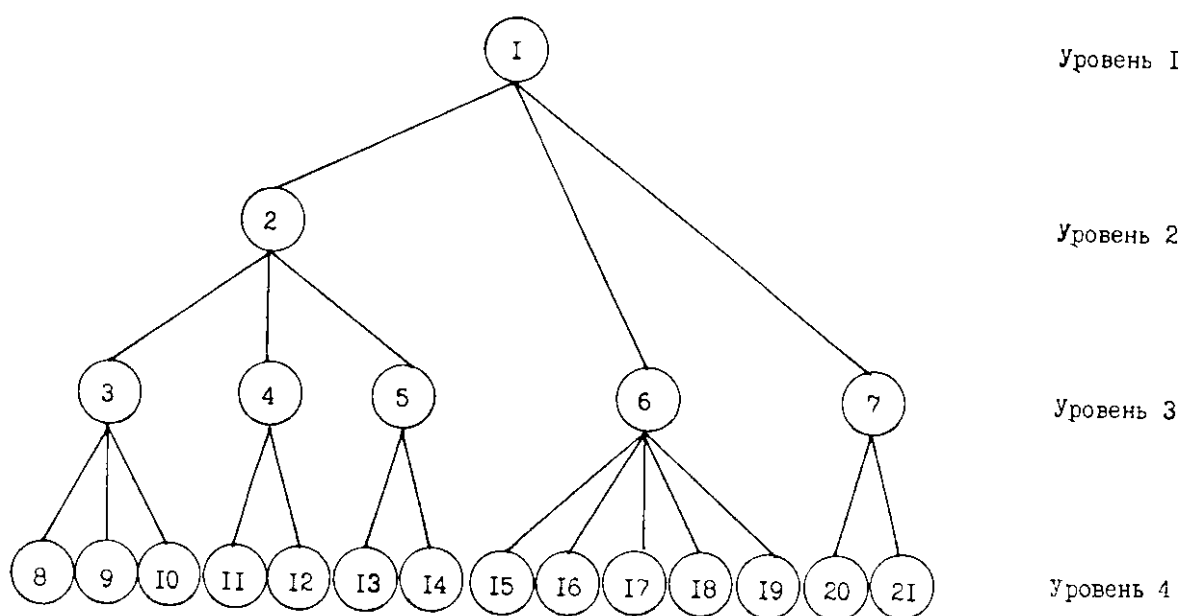


Рис. 4. Диагностическая модель гидропривода

Таблица 2

### Характеристики диагностической модели гидропривода

Номер прямого параметра (элемента модели)	Номер соответствующего косвенного параметра	Априорное время измерений, мин
1	2	3
1	1	2
2	2	10
3	2	10
4	3	5
5	2	10
6	4	1
7	3	5
8	4	1
9	4	12
10	4	1
11	3	5

1	2	3
12	4	1
13	4	1
14	4	1
15	4	30
16	5	30
17	5	10
18	5	10
19	3	5
20	5	3
21	3	5

### 3. ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ДЕФЕКТА

#### 3.1. Виды алгоритмов

Одной из важнейших задач диагностики является поиск дефекта. Затраты средств и времени значительно снижаются при проведении поиска по специальным алгоритмам.

**Алгоритмом диагностирования** называется совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при диагностировании.

Безусловный алгоритм устанавливает заранее установленную последовательность проверок, а условный – в зависимости от результата предыдущей проверки. Для поиска дефекта используют условные алгоритмы.

#### 3.2. Критерии оптимизации построения условных алгоритмов поиска дефекта

При использовании условных алгоритмов для поиска дефекта выбор направления поиска может быть оптимизирован по различным критериям.

**Вероятностный критерий**  $P_{i_{\max}}$ . При выборе очередности диагностирования элементов модели выбирается элемент с максимальной вероятностью события  $P_i$ .



**Временной критерий**  $t_{d_{\min}}$ . При выборе очередности диагностирования элементов модели выбирается элемент с минимальным временем диагностирования  $t_d$ .

**Экономический критерий**  $C_{d_{\min}}$ . При выборе очередности диагностирования элементов модели выбирается элемент с минимальной стоимостью диагностирования  $C_d$ .

**Информационные критерии**  $J_{n_{\max}}, W_{n_{\max}}$  (п.п. 3.3). При выборе очередности диагностирования элементов модели выбирается элемент с максимальной информативностью  $J_n$  и скоростью получения информации  $W_n$ .

### 3.3. Расчет информационных критериев

С позиций теории информации, диагностическая модель (рис. 1) представляет собой систему, содержащую неопределенность. В зависимости от структуры модели и вероятностей появления отказов эта неопределенность распределена по всем элементам модели. В процессе диагностирования происходит раскрытие неопределенности состояния модели. Количество информации, получаемое в процессе диагностирования, равно величине уменьшения неопределенности состояния системы в результате определения фактического состояния  $n$ -го элемента модели. Зная, как неопределенность модели распределена по ее элементам, можно оценить различные пути поиска дефекта. При оценке информативных характеристик модели должен быть определен ряд величин по приведенным ниже зависимостям.

Полная неопределенность системы

$$H_{\text{полн}} = \log_2 m_z, \text{ бит},$$

где  $m_z$  – количество элементов на нижнем уровне  $z$ .

Вероятность нахождения системы в состоянии  $n$ :

$$p_n = \sum_1^r p_i,$$

где  $p_i$  – вероятность нахождения системы в  $i$ -м состоянии, входящем в группу событий  $n$ ;  $r$  – число  $i$ -х состояний, входящих в группу событий состояния  $n$ .

Вероятность нахождения системы в  $n$ -м состоянии нижнего ( $z$ -го) уровня  $P_{n,z}$  может быть принята равной для всех элементов нижнего уровня

$$P_{n,z} = \frac{1}{m_z}.$$

Такое допущение позволяет определить информативные характеристики для моделей объектов, вероятностные характеристики которых неизвестны. С ростом числа элементов модели влияние такого допущения на значения информативных характеристик снижается.

Неопределенность  $n$ -го элемента

$$H_n = -P_n \cdot \log_2 \cdot \frac{P_n}{P_c}, \text{ бит},$$

где  $P_c$  – вероятность нахождения системы в состоянии  $c$ , в группу событий которого входит состояние  $n$ .

Суммарная неопределенность системы

$$H_{\Sigma} = \sum_1^m H_n, \text{ бит}.$$

Суммарная неопределенность элементов  $j$ -го уровня

$$H_j = \sum_1^{m_j} H_n, \text{ бит},$$

где  $m_j$  – количество элементов  $j$ -го уровня.

Информативность  $k$ -го диагностического параметра, с помощью которого раскрывается неопределенность

$$J_k = \sum_{n'}^{m'} H_n, \text{ бит},$$

где  $n'$ ,  $m'$  – индекс элементов модели, неопределенность которых раскрывается при помощи  $k$ -го диагностического параметра.

Информативность  $k$ -го диагностического параметра на  $j$ -м уровне

$$J_{kj} = \sum_{n'_j}^{m'_j} H_n, \text{ бит},$$

где  $n'_j$ ,  $m'_j$  – номера элементов модели, неопределенность которых раскрывается при помощи  $k$ -го диагностического параметра на  $j$ -м уровне.

Полнота контроля всей системы  $k$ -м диагностическим параметром

$$\Pi = \frac{J_{kj}}{H_j}.$$

Скорость получения информации о состоянии  $n$ -го элемента

$$W_n = \frac{J_n}{t_n}, \text{ бит/мин,}$$

где  $J_n$  – количество информации, полученное при диагностировании  $n$ -го элемента, бит;  $t_n$  – время, затраченное на диагностирование  $n$ -го элемента, мин.

### **3.4. Пример построения условного алгоритма поиска дефекта в гидроприводе**

При построении алгоритма воспользуемся рис. 4 и табл. 2. В качестве критерия оптимизации будем использовать временной критерий  $t_{\text{дmin}}$ , учитывая данные, приведенные в столбце 3.

Исходя из структуры модели (рис. 4) причиной отказа элемента 1 могут являться отказы элементов 2, 6, 7. Так как для элемента 6 время диагностирования (табл. 2) имеет наименьшее значение, он должен диагностироваться в первую очередь, что графически отображается на рис. 5.

Если элемент 6 неисправен, то, учитывая минимальное время диагностирования следующим диагностируется элемент 19. Если элемент 19 исправен, учитывая минимальное время диагностирования, последовательно проверяются элементы 17, 18, 15. Если элемент 15 исправен, то это означает, что отказал 16 элемент.

Если элемент 6 исправен, то аналогично проверяется элемент 7 и все последующие. Последовательность проверки приведена на рис. 5.

В случае применения других критериев построения алгоритма (п.п. 3.2, 3.3) численное значение критерия предварительно заносится в табл. 2 вместо времени диагностирования  $t_{\text{д}}$ .

— —→ — если элемент неисправен; —————→ — если элемент исправен

Отчет выполняется на листах бумаги формата А4.

- схема и описание устройства объекта диагностирования;

- диагностическая модель;
- перечень элементов диагностической модели с названиями;
- характеристики диагностической модели (табл. 1);
- список косвенных параметров;
- алгоритм поиска дефекта.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Назовите назначение диагностической модели диагностирования.
2. Что такое диагностическая модель?
3. Перечислите этапы построения модели.
4. Объясните схему и работу объекта диагностирования.
5. Назовите интегральные параметры состояния объекта диагностирования.
6. Назовите наиболее часто используемые косвенные параметры.
7. Сколько иерархических уровней в диагностической модели?
8. Чем ограничено количество иерархических уровней в диагностической модели?
9. Что называется алгоритмом диагностирования?
10. Какие Вы знаете виды алгоритмов диагностирования?
11. Какие Вы знаете критерии оптимизации построения алгоритмов диагностирования?
12. Объясните процесс построения условного алгоритма поиска дефекта.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Головин, С.Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин комплексов» / С.Ф. Головин. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 282 с.
2. Коншин, В.М. Методы и средства диагностирования в системе сервиса строительных и дорожных машин: учеб. пособие / В.М. Коншин. – М.: МАДИ, 2013. – 118 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Номенклатура диагностических параметров

Диагностические параметры	
Прямые	Косвенные
1	2
Двигатель в целом	
1. Эффективная мощность	Угловое ускорение частоты вращения коленчатого вала Виброакустические параметры (ВАП)
Цилиндропоршневая группа	
2. Зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки 3. Зазор между цилиндром и поршнем в верхнем поясе	ВАП Количество газов, прорвавшихся в картер ВАП Количество газов, прорвавшихся в картер Давление газов в конце такта сжатия
Кривошипно-шатунный механизм	
4. Зазор между шейками коленчатого вала и коренными подшипниками 5. Зазор между шейками коленчатого вала и шатунными подшипниками 6. Зазор между поршневым пальцем и втулкой верхней головки шатуна	ВАП Давление масла в главной магистрали Свободный ход поршня относительно оси коленчатого вала ВАП ВАП
Механизм газораспределения	
7. Фазы газораспределения	ВАП
8. Зазор между клапаном и седлом клапана	ВАП Расход сжатого воздуха, подаваемого в цилиндр
Система питания дизельных двигателей	
9. Герметичность впускного тракта	Разряжение во впускном трубопроводе
10. Производительность топливного насоса	ВАП
11. Жесткость пружины форсунки	ВАП Давление начала впрыска
12. Угол опережения впрыска топлива	ВАП
13. Цикловая подача форсунки	ВАП
Система смазки	
14. Давление масла в главной магистрали	—
15. Загрязненность масляного фильтра маслоочистителя	Перепад давления на фильтре Время выбега ротора центрифуги
Система охлаждения	
16. Охлаждающая способность теплообменника	Перепад температур на входе и выходе теплообменника
17. Герметичность системы охлаждения	Скорость падения давления сжатого воздуха в системе охлаждения

1	2
Объемный гидропривод	
18. Коэффициент подачи насоса	Расход рабочей жидкости при максимальном и минимальном давлении
19. Гидравлическая мощность	Расход рабочей жидкости при известном давлении
20. Общее состояние гидропривода	Продолжительность рабочего цикла
21. Осевой люфт в качающих узлах гидронасоса	Пульсация давления в напорной магистрали
22. Механический КПД гидроцилиндра и гидромотора	Давление холостого хода
23. Полный КПД гидроагрегатов	Перепад температур на входе и выходе
24. Внутренние утечки в гидроаппаратуре	ВАП
25. Износ элементов гидропривода	Концентрация продуктов износа в рабочей жидкости
Механические передачи	
26. Общее состояния механической передачи	ВАП Температура
27. Износ зубчатых передач	Суммарный угловой зазор ВАП Кинематическая неравномерность
28. Износ фрикционных передач	Величина проскальзывания Температура

### Варианты заданий для построения диагностических моделей ДСМ

**Вариант № 1.** Построить диагностическую модель 4-цилиндрового дизельного ДВС.

**Вариант № 2.** Построить диагностическую модель системы зажигания.

**Вариант № 3.** Построить диагностическую модель системы питания карбюраторного ДВС.

**Вариант № 4.** Построить диагностическую модель 4-цилиндрового карбюраторного ДВС.

**Вариант № 5.** Построить диагностическую модель традиционной системы питания дизеля.

**Вариант № 6.** Построить диагностическую модель системы питания дизеля CR.

**Вариант № 7.** Построить диагностическую модель системы питания дизеля PLD.

**Вариант № 8.** Построить диагностическую модель системы охлаждения ДВС.

**Вариант № 9.** Построить диагностическую модель пускового двигателя.

**Вариант № 10.** Построить диагностическую модель электростартера.

**Вариант № 11.** Построить диагностическую модель аксиально-поршневого гидромотора, состоящего из блока цилиндров и торцевого распределителя. Приводной вал блока цилиндров закреплен внутри корпуса насоса при помощи двух радиально-упорных и одного радиального шариковых подшипников. Блок цилиндров состоит из 7 одинаковых секций, каждая секция состоит из цилиндра и поршня, перемещаемого при помощи шатуна, имеющего с двух сторон шарнирное закрепление.

**Вариант № 12.** Построить диагностическую модель сдвоенного регулируемого аксиально-поршневого насоса (АПН). АПН состоит



из двух одинаковых качающих узлов, включающих в себя блоки цилиндров с торцевыми распределителями, аналогичные по конструкции гидромотору (вариант № 11). Качающие узлы изменяют угол наклона при помощи регулятора. Качающие узлы изменяют угол наклона при помощи регулятора. Привод каждого качающего узла осуществляется через индивидуальные одноступенчатые редукторы, имеющие общий приводной вал, установленный на двух радиальных шариковых подшипниках.

**Вариант № 13.** Построить диагностическую модель гидропривода, состоящего из шестеренного насоса, предохранительного клапана, двух гидрораспределителей на три положения, гидроцилиндра двухстороннего действия и гидромотора.

**Вариант № 14.** Построить диагностическую модель гидрообъемной трансмиссии.

**Вариант № 15.** Построить диагностическую модель 4-ступенчатого цилиндрического редуктора. Все пять валов редуктора закреплены на радиальных шариковых подшипниках, входной вал приводится в движение через гидроуправляемую фрикционную муфту.

**Вариант № 16.** Построить диагностическую модель тормозной системы. Система состоит из главного цилиндра, 4-х рабочих цилиндров, приводящих в действие двухколодочные цилиндрические тормоза внутреннего типа.

**Вариант № 17.** Построить диагностическую модель пневматической тормозной системы.

**Вариант № 18.** Построить диагностическую модель гидростатической трансмиссии дорожной машины.

**Вариант № 19.** Построить диагностическую модель дизель-электрической трансмиссии дорожной машины.

**Вариант № 20.** Построить диагностическую модель рулевого управления с гидроусилителем.