

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**ДИАГНОСТИКА СТАНКОВ С ПОМОЩЬЮ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Составитель: д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин

Диагностика станков с помощью нейронных сетей: методические указания к выполнению контрольных работ для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 19 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению контрольных работ, рассматривается сценарный анализ и расчет сложных технических систем, объектов на предмет локальных предельных состояний.

Предназначены для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ДССПНС_КР.pdf

Ил. 7. Табл. 5.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5 я7

Рецензент – М. Н. Краснова, канд. техн. наук, доц. кафедры
автоматизированного оборудования машиностроительного
производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению контрольных работ, рассматривается сценарный анализ и расчет сложных технических систем, объектов на предмет локальных предельных состояний.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Техническое диагностирование с помощью нейронных сетей

К системам технического диагностирования (ТД) предъявляют высокие требования по надежности работы. В то же время системы ТД обладают особенностями, которые затрудняют решения задачи обеспечения их высокой надежности, для решения которой требуется проведение большого числа мероприятий. Среди них важнейшее значение имеют те, которые связаны с поиском и устранением повреждений. Системы ТД можно определить как системы длительного пользования с восстановлением.

Время восстановления отказавшей системы:

$$T_B = t_0 + t_{\text{пр}} + t_{\text{п}} + t_y,$$

где t_0 – время оповещения обслуживающего персонала (электромеханика) об отказе;

$t_{\text{пр}}$ – время прибытия к отказавшему объекту;

$t_{\text{п}}$ – время поиска неисправности;

t_y – время устранения отказа.

Для систем ТД среднее значение T_B существенно больше времени интервала следования между поездами. Например, для электрической централизации оно составляет в среднем 84 мин, для автоблокировки – 77мин, для полуавтоматической блокировки – 84мин, для переездной сигнализации – 60мин. и т.д.

Уменьшения времени T_B следует добиваться уменьшением каждой из составляющих, а время t_0 сокращают введением автоматической сигнализации об отказах, применением телефонной связи и радиосвязи; время $t_{\text{пр}}$ – за счет организации дежурств электромехаников, обеспечения их автотранспортом, строительством подъездных дорог; время $t_{\text{п}}$ – введением элементов встроенного контроля с индикацией места повреждения, повышением квалификации обслуживающего персонала и обеспечением их измерительными приборами; время t_y – повышением ремонтпригодности аппаратуры (блочное построение, штепсельное включение и т.п.) и обеспечением запасными деталями и материалами. Среди перечисленных мероприятий большую роль играют те из них, которые рассматриваются и изучаются технической диагностикой.

Задачи технической диагностики.

Техническая диагностика определяет состояние, в котором находится технический объект (устройство, система). Объект, у которого определяется состояние, называется объектом диагноза. Итогом этого процесса является получение результата диагноза, а именно заключения о состоянии объекта диагноза. Техническая диагностика изучает теорию и методы организации процессов диагноза, а также принципы построения средств диагноза.

При диагнозе решаются задачи точного определения состояния, в котором находится система, или установления множества состояний, в одном из которых она находится. Это определяется тем, какая задача ставится при исследовании объекта диагноза. В технической диагностике с помощью нейронных сетей выделяют четыре задачи диагноза.

Первая задача диагноза – проверка исправности. При которой решается задача обнаружения любой неисправности, переводящий систему из множества A в множество W_2 . Она возникает при изготовлении устройств на заводах, включении их после долгого хранения или ремонта. При введении в эксплуатацию устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (например, при регулировке и пуске ЭЦ) проверяют все элементы, узлы, цепи, источники питания и изоляции. Часто это очень трудоемкий процесс, для упрощения которого необходимо применять методы технического диагностирования.

Вторая задача диагноза – проверка работоспособности, при которой решается задача обнаружения тех неисправностей, которые переводят систему из множества W_1 в множество C . Во время проверки работоспособности можно оставлять необнаруженными неисправности, не препятствующие применению системы по назначению. Например, при наличии резервирования система может быть работоспособна, несмотря на наличие неисправностей в резервных элементах. Данная задача возникает при включении системы в работу или при профилактических осмотрах, а также когда имеется ограничение на время, отведенное для проверки устройств.

Третья задача диагноза – проверка правильности функционирования – решается во время работы системы. При этом можно следить за тем, чтобы в системе не появились неисправности, нарушающие ее нормальную работу в настоящий момент времени, и исключить недопустимое для нормальной работы влияние неисправностей. Проверка правильности позволяет делать вывод о правильной работе системы только в данном режиме и в данный момент времени. В общем случае правильно работающий в данный момент времени объект может быть как неработоспособным, так и неисправным. Указанная задача имеет важное значение для устройств железнодорожной автоматики, выполняющих ответственные функции по регулированию движения поездов. В них надо следить за тем, чтобы искажение алгоритма функционирования не приводило к опасным последствиям при влиянии на объекты управления.

Четвертая задача диагноза – поиск неисправностей, при котором решается проблема точного указания в системе неисправного элемента или множества

элементов, среди которых находится неисправный элемент. Неисправности можно искать в неисправных, неработоспособных и неправильно функционирующих устройствах во время наладки при производстве и во время ремонта при эксплуатации и хранении. Результатом процесса поиска неисправностей является разбиение множества W_2 (если исследуется неисправный объект) или множества C (неработоспособный объект) на классы неразличимых между собой (или эквивалентных) состояний (неисправностей). Эквивалентными называют такие неисправности, которые нельзя отличить друг от друга при принятом для исследования устройства способе диагноза. При этом решается вопрос – в каком из классов эквивалентных состояний находится система. Число классов определяет ту степень детализации, которая достигается при поиске неисправностей. Ее называют глубиной диагноза (поиска).

Методы построения тестов диагностирования

Математические модели объектов диагноза.

Объекты диагноза подразделяют на два класса. Непрерывные (аналоговые) объекты имеют такие входные, внутренние и выходные сигналы, которые могут принимать значения из некоторых непрерывных множеств значений, а время, в котором дается описание объекта, отсчитывается непрерывно. Дискретные объекты имеют такие сигналы, значения которых задаются на конечных множествах, а время отсчитывается дискретно. Возможны такие гибридные системы, в которых часть сигналов является непрерывно, а часть дискретной.

Кроме того, объекты диагноза делят на комбинационные и последовательные. Комбинационные, или объекты без памяти, характеризуются взаимно однозначным соответствием между входными и выходными сигналами. Последовательные, или объекты с памятью, имеют выходные сигналы, значения которых зависят не только от значений входных сигналов, но и от времени. В железнодорожной автоматике применяют системы всех указанных типов. Рельсовые цепи являются непрерывными системами без памяти, аналоговая система регулирования скорости движения отцепы на сортировочной горке – непрерывной системой с памятью. В качестве дискретных комбинационных систем можно рассматривать схемы управления огнями светофоров, а в качестве дискретных систем с памятью – схемы замыкания и размыкания маршрутов в любой системе ЭЦ.

Для построения тестов и алгоритмов диагноза необходимо иметь формальное описание объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях. Такое формальное описание называют математической моделью объекта диагноза. Различают модели с явным и неявным описанием неисправностей. Явная модель объекта диагноза состоит из описаний его исправной и всех неисправных модификаций. Неявная модель содержит описание исправного объекта, математические модели его физических неисправностей и правила полу-

чения по ним все неисправных модификаций объекта. Выбор модели является важным элементом процесса организации процедуры диагноза.

Существует одна универсальная математическая модель объекта диагноза – таблица функций неисправностей (ТФН).

Эта таблица является явной моделью и может быть построена для объекта диагноза любой физической природы. Каждое неисправное состояние соответствует одной неисправности (одиночной или кратной) из заданного класса неисправностей, относительно которого строится тест и алгоритм диагноза. Физический смысл состояний и проверок определяется конкретными особенностями объекта диагноза. Данная таблица содержит всю необходимую информацию для получения тестов, которые находятся с помощью специальной математической обработки таблицы.

Недостатком ТФН являются ее большие размеры, но она очень наглядна и удобна для анализа любого устройства и поэтому ее часто используют как непосредственно, так и в сочетании с другими моделями. Для непрерывных систем используют логические модели, графы причинно-следственных связей, диаграммы прохождения сигналов и топологические модели. Для дискретных систем используют таблицы истинности, логические сети, альтернативные графы, эквивалентную нормальную форму представления булевых функций, таблицы переходов-выходов многотактных схем и итеративные модели. Выбор модели влияет на глубину и трудоемкость процесса диагноза.

I РАЗДЕЛ

Системы тестов и функционального диагноза.

Объект диагноза ОД представляют в виде устройства (рис. 1), имеющего входы и доступные для наблюдения выходы. Процесс диагноза представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определения на выходах реакции на это воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой π . В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также и дополнительные (контрольные) выходы.

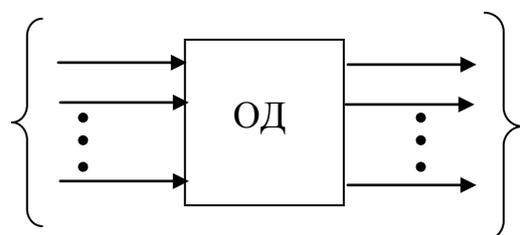


Рис. 1. Объект диагноза

Совокупность проверок, позволяющую решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом: $T = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$. Под длиной теста L понимают число входящих в него проверок.

По назначению тесты делят на проверяющие и диагностические. Проверяющий тест $T_{\text{п}}$ – это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неисправность из заданного списка (множества). Проверяющий тест решает задачи проверки исправности системы (в случае в список неисправностей включают все возможные в системе неисправности) и проверки работоспособности (в список включают только те неисправности, которые приводят к отказу системы).

Диагностический тест $T_{\text{д}}$ – это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов эквивалентных неисправностей. Он позволяет решать задачу поиска неисправностей.

Важной характеристикой процедур диагноза является полнота обнаружения неисправностей, задающая долю гарантированно обнаруживаемых неисправностей относительно всех заданных или рассматриваемых неисправностей объекта диагноза. Любая диагностическая процедура (а также и тест диагноза) обязательно связывается с определенным, строго фиксированным списком неисправностей, обнаружение которых обеспечивается при ее проведении. Это фактически определяет ограничение, накладываемое на процесс обнаружения неисправностей, и, в конечном итоге, определяет глубину диагноза.

По полноте обнаружения неисправностей различают одиночный, кратный и полный тесты. Одиночный тест обнаруживает в устройстве все одиночные повреждения входящих в него элементов. Кратный тест обнаруживает все возможные совокупности из k одиночных неисправностей элементов, причем тест кратности k должен фиксировать не только все совокупности из k одиночных неисправностей, но и все неисправности меньшей кратности, в том числе все одиночные неисправности. Полный тест обнаруживает неисправности любой кратности. Использование того или иного теста определяется решаемой задачей диагноза. Так, при исследовании устройства, в котором неисправность возникла в процессе функционирования, как правило, используют одиночные тесты, так как вероятность возникновения одновременно нескольких неисправностей невелика. По сравнению с одиночными полные тесты имеют гораздо большую длину и поэтому требуют для испытания устройства больше времени. Их применяют при контроле устройств в процессе изготовления, когда вероятность одновременного существования нескольких повреждений повышается из-за дефектов комплектующих изделий и ошибок в монтаже и настройке.

В зависимости от длины различают тривиальный, минимальный и минимизированные тесты. Тривиальный тест, содержащий все возможные для данной системы проверки, имеет максимальную длину. Применение тривиального теста предусматривает полное моделирование работы устройства. Наименьшее число проверок имеет минимальный тест T_{min} . Он обеспечивает решение задан-

ной задачи диагноза, и не существует для данного устройства другого теста, который имеет меньшее число проверок.

Построение T_{\min} требует больших вычислений, поэтому на практике строят минимизированные тесты, имеющие длину, близкую к минимальных тестов.

С помощью теста строят процедуру диагноза, в основе которой лежит алгоритм диагноза, представляющий собой последовательность элементарных проверок, составляющих тест, и правила анализа результатов этих проверок. Алгоритм диагноза реализуется специальными устройствами, называемыми средствами диагноза. Взаимодействующие между собой объект диагноза и средства диагноза образуют систему диагноза.

В общем случае процесс диагноза представляет собой многократную подачу на объект определенных входных воздействий и многократное измерение и анализ ответов (выходных сигналов) на эти воздействия, которые могут поступать на входы объекта от средств диагноза или являться внешними (рабочими) сигналами, определяемыми рабочим алгоритмом функционирования устройства. Измерение и анализ ответов объекта всегда осуществляется средствами диагноза.

Различают два вида систем диагноза.

Система тестового диагноза предусматривает взаимодействие между средствами диагноза *СД* и объектом диагноза *ОД* (рис. 2). Тестовые воздействия *ТВ* на *ОД* поступают только от *СД*. Поэтому как состав, так и последовательность подачи этих воздействий можно выбирать исходя из условий эффективной организации процесса диагноза. При этом каждое очередное воздействие можно назначать в зависимости от ответов *О* объекта на предыдущие воздействия. Воздействия в такой системе называют тестовыми.

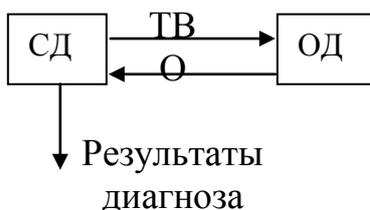


Рис. 2. Система тестового диагноза

В системе функционального диагноза (рис. 3) *СД* не формирует воздействий на *ОД*. На *ОД* и *СД* поступают только рабочие воздействия *РВ*, предусмотренные рабочим алгоритмом функционирования объекта. Система диагноза работает в процессе рабочего функционирования *ОД* и решает задачи проверки правильности функционирования и поиска неисправностей, нарушающих нормальное функционирование.

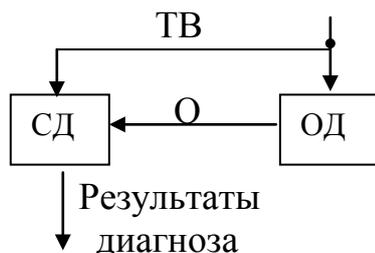


Рис. 3. Система функционального диагноза

В функциональной схеме системы тестового диагноза (рис. 4) блок управления *БУ* служит для хранения алгоритма диагноза и управления работой средств диагноза. Источник воздействий *ИВ* вырабатывает воздействия a_j элементарных проверок, входящих в тест, и в соответствии с алгоритмом диагноза в определенной последовательности подает их через устройство связи *УС* на объект диагноза *ОД*, а также на модель объекта диагноза *МОД*. Блок *МОД* вырабатывает информацию о возможных технических состояниях объекта в виде возможных результатов b_j^* элементарных проверок, входящих в тест. Объект диагноза в ответ на воздействия a_j формирует фактические результаты b_j элементарных проверок, которые через устройство связи *УС* поступают на вход блока расшифровки результатов *БРР*. В этом блоке сравниваются результаты элементарных проверок, снимаемых с выходов *ОД* и формируемых *МОД*. Результат сравнения запоминается в *БРР*, после чего *БУ* назначает очередную элементарную проверку, входящую в тест. Если назначение очередной проверки зависит от результата предыдущей, то между блоками *БРР* и *БУ* устанавливается прямая связь (показана штриховой линией). После прохождения всего или части теста блок *БРР* формирует результаты диагноза.

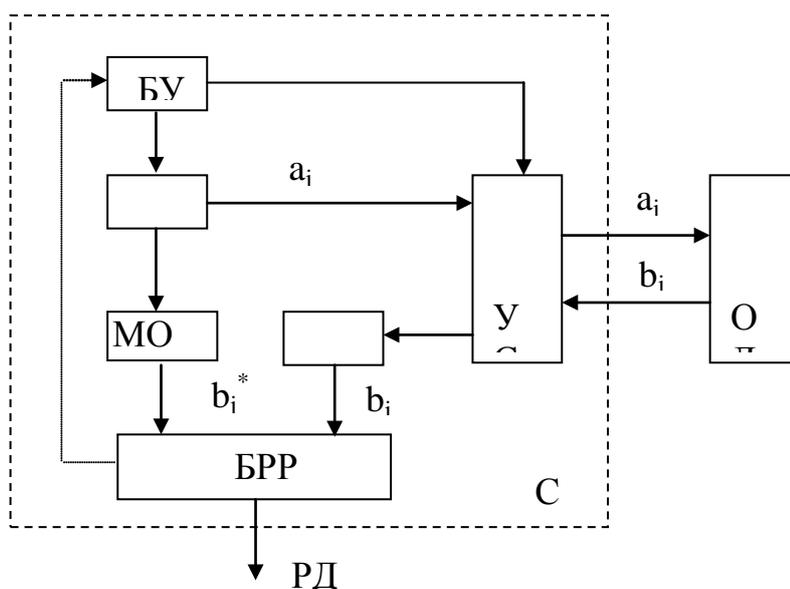


Рис. 4. Функциональная схема системы тестового диагноза

В функциональной схеме системы функционального диагноза (рис. 5) рабочие воздействия a_j поступают на основные входы объекта $ОД$, с которого снимаются сигналы y_j управления средствами $УС$ диагноза и сигналы b_j ответов $ОД$ на воздействия a_j . Сигналы y_j управляют блоками $БУ$ и $МОД$ в зависимости от режима работы объекта, при этом на входы $МОД$ поступают воздействия a_j . Между блоками $БРР$ и $ОД$ устанавливается прямая связь, если на систему диагноза возлагается защита объекта управления от неправильного воздействия со стороны $ОД$ при его повреждениях.

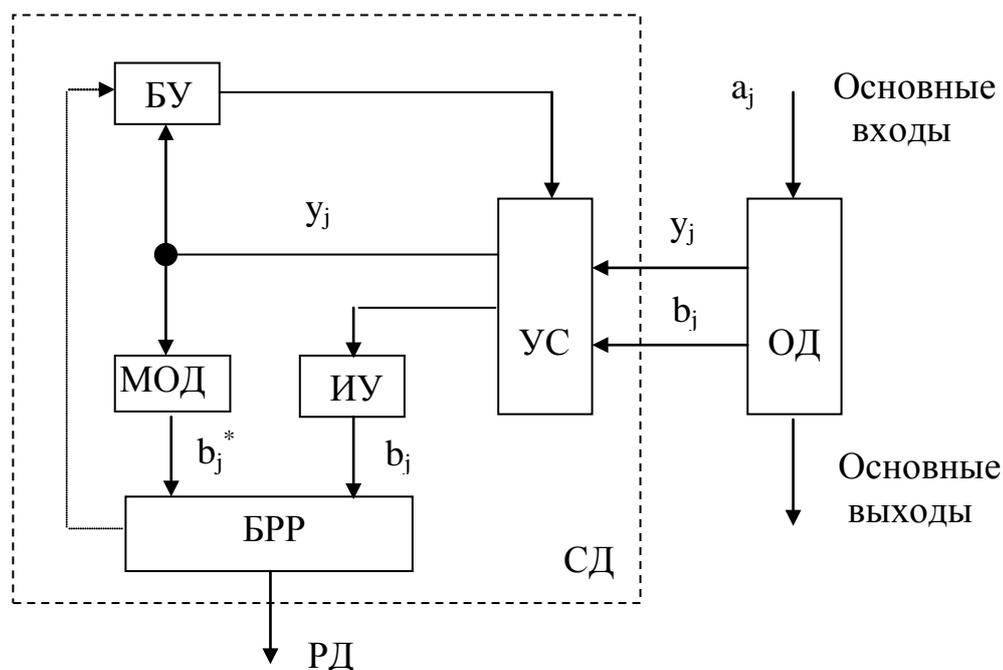


Рис. 5. Функциональная схема системы тестового диагноза

В конечном итоге процедура диагноза сводится к сравнению работы идеального устройства (задаётся моделью $ОД$) и реального исследуемого устройства. Число неисправностей в реальном устройстве, как правило, велико, поэтому процедура диагноза сложна и требует большого числа измерительных и вычислительных операций. Для проведения процедуры диагноза требуется решение основных задач: выбор и построение модели $ОД$, синтез теста, построение алгоритма диагноза, синтез и реализация средств диагноза.

II РАЗДЕЛ

Построение проверяющего и диагностического тестов для функциональной схемы объекта диагноза.

Непрерывные системы ЖАТС имеют особенности, которые позволяют при их анализе отдать предпочтение логическим моделям. Применение логических моделей связано с допусковыми методами контроля, которые характеризуются тем, что заключение о техническом состоянии объекта составляют по

результатам оценки значений сигналов в контрольных точках (значений контролируемых параметров объекта). Результаты контроля параметров при этом приводятся к оценкам вида: «в допуске – не в допуске», «в норме – не в норме», иначе говоря, к оценкам двузначного типа (нуль или единица). Отсюда следует, что в этих случаях удобно применять модели логического типа и различные логические методы.

На первом этапе построения логической модели в системе выделяют отдельные функциональные элементы, входы и выходы которых доступны для измерения.

На втором этапе построения модели составляют функциональную схему системы как объекта диагноза, в которой указывают все выделенные элементы и связи между ними.

Функциональная схема объекта диагноза **вариант 21** (рис. 6) содержит восемь элементов — Э1 — Э8, имеет четыре внешних входных воздействия — $x_1 - x_4$, и формирует четыре выходные реакции — y_5, y_6, y_7, y_8 . Каждый элемент формирует свою выходную реакцию y_i , причем выходные реакции элементов Э5, Э6, Э7, Э8 совпадают с выходными реакциями схемы. Примем, что $x_i = 1$ и $y_i = 1$, если i -е входное воздействие или выходная реакция j -го элемента являются допустимыми; в противном случае $x_i = 0$ и $y_i = 0$.

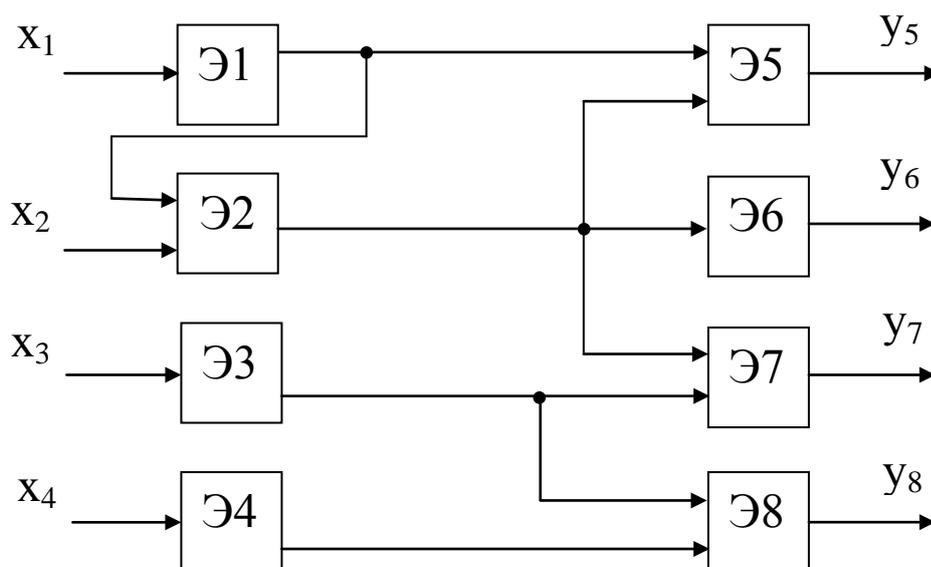


Рис. 6. Функциональная схема объекта диагноза **вариант 21**

Ограничимся рассмотрением только одиночных неисправностей, поэтому система имеет девять состояний:

$$\begin{array}{lll}
 S_0=11111111, & S_1=01111111, & S_2=10111111, \\
 S_3=11011111, & S_4=11101111, & S_5=11110111, \\
 S_6=11111011, & S_7=11111101 & S_8=11111110.
 \end{array}$$

При работе с логической моделью предполагается, что на входы объекта поступает единственное входное воздействие, определяемое допустимыми значениями всех входных сигналов.

Поэтому возможные элементарные проверки отличаются только наборами контрольных точек, в которых осуществляется измерение. В этом случае задача построения алгоритма диагноза сводится к выбору совокупности контрольных точек, достаточной для решения определенной задачи диагноза. На практике большое число проверок не может быть осуществлено, так как нет доступа к выходам некоторых элементов; невозможно подключиться сразу к выходам нескольких элементов и т.п.

В рассматриваемом случае будем считать, что возможны только те проверки, которые заключаются в измерении реакции на выходе одного из элементов системы, причем для измерения доступны выходы всех элементов. Обозначим элементарную проверку как π_i – это контроль реакции на выходе i -го элемента ($i \in \{1, 2, \dots, 7\}$).

В табл.1 приведена таблица функций неисправностей (ТФН), составленная для системы (рис. 6).

Таблица 1

Проверка	Результат R проверки для системы, находящейся в состоянии								
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
π_1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_2	1	0	0	1	1	1	1	1	1
π_3	1	1	1	0	1	1	1	1	1
π_4	1	1	1	1	0	1	1	1	1
π_5	1	0	0	1	1	0	1	1	1
π_6	1	0	0	1	1	1	0	1	1
π_7	1	0	0	0	1	1	1	0	1
π_8	1	1	1	0	0	1	1	1	0

Когда система исправна (состояние S₀), на выходах всех элементов имеют место допустимые значения сигналов. Отказ какого-либо элемента вызывает появление недопустимого значения сигнала на его выходе и на выходах всех связанных с ним элементов.

Данная ТФН содержит всю необходимую информацию для построения проверяющего и диагностического тестов. Каждая графа ТФН задает некоторую функцию, определяемую на множестве проверок. Функция равна единице, если проверка дает допустимый результат. Обозначим F – функция исправного объекта; f_i - функция i -го состояния неисправного объекта или функция i -той неисправности. Например, имеем:

$$F = \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \vee \pi_8,$$

$$\begin{aligned}
f_1 &= \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_8, & f_2 &= \pi_1 \vee \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_8, \\
f_3 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6, & f_4 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7, \\
f_5 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \vee \pi_8, \\
f_6 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & f_7 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_8, \\
f_8 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7
\end{aligned}$$

При построении теста T_n для каждой неисправности вычисляют проверяющую функцию:

$$\varphi_i = F \oplus f_i. \quad (1)$$

Функция $\varphi_i = 1$ только на тех проверках, на которых результаты проверок различны для исправной схемы и для схемы с i -той неисправностью. Иначе говоря, она объединяет те проверки, на которых i -тая неисправность обнаруживается.

Проверяющий тест

$$T_n = \varphi_1 \varphi_2, \dots, \varphi_n, \quad (2)$$

где n – число неисправностей.

В данном случае $n = 8$.

Для того, чтобы найти φ_i складываем полученные значения по формуле (1) и получаем:

$$\begin{aligned}
\varphi_1 &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7, & \varphi_2 &= \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7, \\
\varphi_3 &= \pi_3 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & \varphi_4 &= \pi_4 \vee \pi_8, \\
\varphi_5 &= \pi_5, & \varphi_6 &= \pi_6, & \varphi_7 &= \pi_7, & \varphi_8 &= \pi_8
\end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned}
T_n &= \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 \varphi_5 \varphi_6 \varphi_7 \varphi_8 = \\
&= (\pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7) (\pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7) (\pi_3 \vee \pi_7 \vee \pi_8) (\pi_4 \vee \pi_8) \pi_5 \pi_6 \pi_7 \pi_8
\end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (2) может быть упрощено на основе закона поглощения, который характеризуется следующими равенствами:

$$\begin{aligned}
a(a \vee b) &= aa \vee ab = a \vee ab = a(1 \vee b) = a \times 1 = a, \\
(a \vee b)(a \vee b \vee c) &= a \vee b,
\end{aligned}$$

или в общем случае

$$(G_1 \vee G_2)(G_1 \vee G_3) = G_1, \quad (4)$$

где G_1, G_2, G_3 – любые логические функции.

В формуле (3) любое выражение в скобках содержит проверку π_4 или π_5 , каждая из которых, кроме того, входит в выражение в качестве отдельной конъюнкции. Поэтому, учитывая выражение (4), в формуле (2) все скобки исключают, в результате чего получаем

$$T_{\Pi} = \pi_5 \pi_6 \pi_7 \pi_8 \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что для полной проверки системы (см. рис. 6) необходимо и достаточно подать на внешние входы допустимые воздействия и измерить реакции на выходах элементов - и Э5, Э6, Э7 и Э8. Если система исправна, то на выходах всех этих элементов будут допустимые сигналы, если же неисправна, то на выходе хотя бы одного элемента будет недопустимый сигнал.

В общем случае для проверки исправности или работоспособности объекта достаточно проконтролировать все его внешние выходы. Однако логическая модель и ТФН позволяют найти такую минимальную совокупность проверок, в которую не войдут внешние выходы объекта, являющиеся также входами блоков модели.

При решении задачи поиска неисправного элемента строят диагностический тест T_d . Для каждой пары неисправностей (с номерами i и j) вычисляют различающую функцию:

$$\varphi_i = f_i \oplus f_j. \quad (6)$$

Различающая функция, полученная по выражению (6), $\varphi_{ij} = 1$ только на тех проверках, на которых результаты проверок различны для схемы с i -й неисправностью и для схемы с j -й неисправностью. Иначе говоря, она объединяет те проверки, на которых i -я и j -я неисправности различаются друг от друга.

Для всех пар неисправностей имеем:

$$\begin{aligned} \varphi_{1,2} &= \pi_1, & \varphi_{1,3} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_8, & \varphi_{1,4} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \vee \pi_8, \\ \varphi_{1,5} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_6 \vee \pi_7, & \varphi_{1,6} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_7, \\ \varphi_{1,7} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6, & \varphi_{1,8} &= \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \\ \varphi_{2,3} &= \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_8, & \varphi_{2,4} &= \pi_2 \vee \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \vee \pi_8, \\ \varphi_{2,5} &= \pi_2 \vee \pi_6 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & \varphi_{2,6} &= \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_7, & \varphi_{2,7} &= \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 & \varphi_{2,8} &= \pi_2 \vee \pi_5 \vee \pi_6 \vee \pi_8 \\ \varphi_{3,4} &= \pi_3 \vee \pi_4 \vee \pi_7, & \varphi_{3,5} &= \pi_3 \vee \pi_5 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & \varphi_{3,6} &= \pi_3 \vee \pi_5 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & \varphi_{3,7} &= \pi_3 \vee \pi_8, \\ \varphi_{3,8} &= \pi_3 \vee \pi_7 \\ \varphi_{4,5} &= \pi_4 \vee \pi_5 \vee \pi_8, & \varphi_{4,6} &= \pi_4 \vee \pi_6 \vee \pi_8, & \varphi_{4,7} &= \pi_4 \vee \pi_7 \vee \pi_8, & \varphi_{4,8} &= \pi_4 \\ \varphi_{5,6} &= \pi_5 \vee \pi_6, & \varphi_{5,7} &= \pi_5 \vee \pi_7, & \varphi_{5,8} &= \pi_5 \vee \pi_8, & \varphi_{6,7} &= \pi_6 \vee \pi_7, & \varphi_{6,8} &= \pi_6 \vee \pi_8, & \varphi_{7,8} &= \pi_7 \vee \pi_8. \end{aligned}$$

Возможны два варианта диагностического теста. Первый вариант используют в том случае, когда заведомо известно, что система неисправна, и поэтому

ставится одна задача – обнаружение неисправного элемента. В этом случае тест T_d вычисляют как логическое произведение различающих функций:

$$\begin{aligned} T_d &= \varphi_{1,2} \varphi_{1,3}, \dots, \varphi_{n-2, n-1}, \varphi_{n-1, n} \\ T_d &= \varphi_{1,2} \varphi_{1,3}, \dots, \varphi_{6,8} \varphi_{7,8} = \end{aligned} \quad (7)$$

Используя уравнение (4), упрощаем полученное выражение:

$$T_d = \pi_1 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6 (\pi_7 \vee \pi_8) \quad (8)$$

Выражение (8) содержит два минимальных теста:

$$T_{d1} = \pi_1 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \pi_7, \quad T_{d2} = \pi_1 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \pi_8,$$

Рассмотрим минимальный тест T_{d1} . Из этого выражения следует, что для обнаружения неисправного элемента необходимо и достаточно подать на внешние входы допустимые воздействия и измерить реакции на выходах четырех элементов – Э1, Э2, Э3 и Э4. Результаты теста дешифрируются словарем неисправностей, который представляет собой таблицу, являющуюся частью ТФН. В эту таблицу входят строки, соответствующие проверкам, содержащимся в T_d , и графы, соответствующие классам эквивалентных неисправностей. Для T_{d1} словарь неисправностей представлен в табл. 2.

Таблица 2

Проверка	Результат R проверки для системы, находящейся в состоянии S_i							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_3	1	1	0	1	1	1	1	1
π_4	1	1	1	0	0	1	1	1
π_5	0	1	1	1	0	1	1	1
π_6	0	1	1	1	1	0	1	1
π_7	0	0	0	1	1	1	0	1

Словарь неисправностей позволяет обнаруживать неисправный элемент при помощи формальной процедуры. Для этого на входы системы подают допустимые воздействия и выполняют измерения в контрольных точках, соответствующих проверкам, входящих в словарь неисправностей. Результаты измерения сравнивают с данными, приведенными в словаре неисправностей. По совпадению судят о номере неисправного элемента.

Второй вариант диагностического теста используют тогда, когда задача поиска неисправностей и задача проверки системы совмещаются в едином процессе диагноза. Такой подход часто используют на практике. В этом случае

$$T_d' = T_n \Phi_{1,2} \Phi_{1,3}, \dots, \Phi_{n-2,n-1}, \Phi_{n-1,n}. \quad (9)$$

Тогда получаем:

$$T_d' = \pi_5 \pi_6 \pi_7 \pi_8 \cdot \pi_1 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \cdot (\pi_7 \vee \pi_8) = \pi_1 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6 \pi_7 \pi_8 \quad (10)$$

При сравнении выражений (8) и (10) следует, что T_d' имеет большую длину, чем T_d . Следовательно, тест T_d' обеспечивает наиболее полную проверку системы. Результаты теста сводятся в словарь неисправностей для T_d' представленный в табл. 3. Словарь неисправностей для T_d' содержит также графу S_0 , соответствующую исправному состоянию системы.

Таблица 3

Проверка	Результат R проверки для системы, находящейся в состоянии								
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
π_1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_3	1	1	1	0	1	1	1	1	1
π_4	1	1	1	0	1	0	1	1	1
π_5	1	0	1	1	0	0	1	1	1
π_6	1	0	1	1	1	1	0	1	1
π_7	1	0	0	0	1	1	1	0	1
π_8	1	1	1	0	0	1	1	1	0

Логические модели упрощают непрерывные объекты и поэтому позволяют решать не все задачи диагноза (в частности, не позволяют различать неисправности элементов, охваченных обратной связью).

Однако логические модели являются простыми и удобными для анализа. Поэтому часто их используют на первом этапе диагноза, когда выявляют укрупненные неисправные блоки. Для более детального анализа применяют другие методы.

III РАЗДЕЛ

Задание к контрольной работе

Вариант задания может назначаться преподавателем или выбирается студентом согласно таблице 4.

Номер варианта и схемы представлены на рис. 7.

Данные для расчета представлены в табл. 5.

Для оценки π использовать табл. 2 – 3.

Таблица 4

Выбор номера варианта, схемы и данных

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Номер варианта и схемы (рис. 3.1)	Последняя цифра зачетной книжки	Номер варианта данных для расчета
0	1	0	1
1	2	1	2
2	3	2	3
3	4	3	4
4	5	4	5
5	6	5	6
6	7	6	7
7	8	7	8
8	9	8	9
9	10	9	10

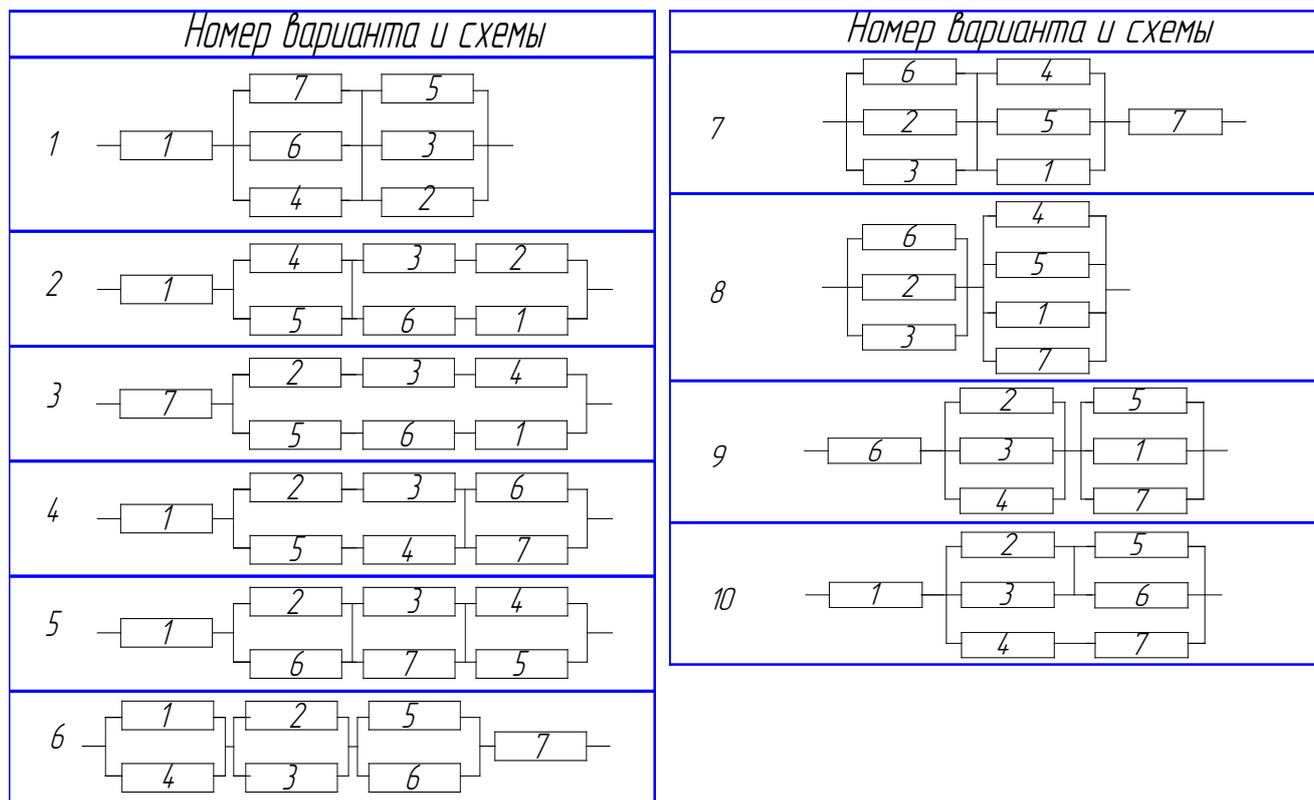


Рис 7. Номер варианта и схемы

Таблица 5

Элемент	Вероятность безотказной работы элемента									
	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Первый	0,45	0,75	0,9	0,58	0,87	0,87	0,98	0,83	0,69	0,87
Второй	0,65	0,6	0,95	0,98	0,82	0,45	0,45	0,58	0,86	0,59
Третий	0,9	0,7	0,2	0,74	0,74	0,398	0,83	0,84	0,87	0,57
Четвертый	0,3	0,85	0,8	0,82	0,79	0,64	0,81	0,93	0,59	0,47
Пятый	0,9	0,8	0,7	0,57	0,68	0,84	0,92	0,73	0,98	0,89
Шестой	0,9	0,9	0,6	0,64	0,61	0,69	0,73	0,64	0,92	0,69
Седьмой	0,95	0,55	0,75	0,71	0,79	0,42	0,75	0,68	0,67	0,61
Восьмой	0,95	0,9	0,9	0,73	0,82	0,73	0,71	0,84	0,74	0,78

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Основные понятия и определения.....	3
I Раздел.....	6
II Раздел.....	10
III Раздел.....	16

ДИАГНОСТИКА СТАНКОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ для студентов направления
15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки
«Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении
изделий в автоматизированном машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Составитель
Жачкин Сергей Юрьевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 08.12.2021.
Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14