

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

**ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА
В ОБЪЕКТАХ И СИСТЕМАХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине «Основы технической диагностики»

Иркутск 2013

УДК 658.5:681.3
ББК 39.55
П 78

Составители:

С.В. Пахомов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики и приборостроения;

А.М. Сафарбаков, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики и приборостроения;

Ю.С. Мухачев, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической механики и приборостроения

Рецензенты:

А.И. Исаев, доктор техн. наук, проф., зав. кафедрой авиационных двигателей Иркутского филиала Московского государственного технического университета гражданской авиации;

Н.Н. Климов, доктор физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой телекоммуникационных систем Иркутского государственного университета путей сообщения

П 78

Программы поиска места отказа в объектах и системах железнодорожного транспорта : учебно-метод. пособие / С.В. Пахомов, А.М. Сафарбаков, Ю.С. Мухачев. – Иркутск : ИрГУПС, 2013. – 88 с.

Приведены методические рекомендации и примеры разработки программ, а также задания для выполнения расчетно-графических работ (контрольной работы) по дисциплине «Основы технической диагностики».

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальности 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» специализаций «Электроснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта», «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте» и специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути».

Ил. 40. Табл. 12. Библиогр.: 3 назв.

УДК 658.5:681.3
ББК 39.55

© Иркутский государственный университет
путей сообщения, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения.....	4
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММАХ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА В ОБЪЕКТАХ ДИАГНОЗА	12
2. КОМБИНАЦИОННАЯ ПРОГРАММА ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА «НА ОСНОВЕ МЕТОДА И.М. СИНДЕЕВА»	14
2.1. Определение состояний объекта диагноза	14
2.2. Определение контролируемых параметров объекта диагноза.....	15
2.3. Схема причинно-следственных связей состояний агрегатов и их признаков состояний	16
2.4. Оценка информативности контролируемых параметров (признаков состояний) объекта диагноза	18
2.5. Минимизация набора контролируемых параметров (признаков состояний) объекта диагноза	20
2.6. Пример разработки комбинационной программы поиска места отказа «на основе метода С.М. Синдеева».....	24
2.7. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 1 (контрольной работы)	32
3. ЖЕСТКО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА	36
3.1. Программа поиска места отказа «по функциональной схеме»	36
3.2. Пример разработки программы поиска места отказа «по функциональной схеме»	39
3.3. Программа поиска места отказа «вероятность – время»	42
3.4. Пример разработки программы поиска места отказа «вероятность – время»	44
3.5. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 2 (контрольной работы)	48
4. ГИБКО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА	55
4.1. Программа поиска места отказа «по максимуму информации»	55
4.2. Пример разработки программы поиска места отказа «по максимуму информации».....	58
4.3. Программа поиска места отказа «половинного разбиения»	68
4.4. Пример разработки программы поиска места отказа «половинного разбиения»	69
4.5. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 3 (контрольной работы)	73
ПРИЛОЖЕНИЯ	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	87

Обозначения и сокращения

ОД	– объект диагноза
СД	– средства диагноза
ЭП	– элементарная проверка
ЖП	– жесткая программа
ЖПП	– жестко-последовательная программа
ГП	– гибкая программа
ГПП	– гибко-последовательная программа
КПА	– контрольно-проверочная аппаратура
E	– множество всех технических состояний ОД, ед.
S	– множество всех возможных неисправных технических состояний ОД, ед.
$H(S)$	– энтропия состояния системы, ед.
q_i	– вероятность отказа i -го элемента системы, ед.
τ_i	– время, необходимое для ЭП i -го элемента, мин.
I_{x_i}	– информативность контролируемого признака (параметра) ОД, бит
Z_{x_i}	– информативность контролируемого признака (параметра) ОД в безразмерной форме, ед.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В вузах страны с 2010 года федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования введена новая учебная дисциплина «Основы технической диагностики».

В рамках данной дисциплины предполагается изучение следующих основополагающих разделов технической диагностики для направления подготовки дипломированных специалистов 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» и направления подготовки 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» по профилю «Управление техническим состоянием железнодорожного пути»: методы оценки информативности диагностических параметров; программы поиска места отказа в устройствах железнодорожного транспорта.

Сотрудниками ИрГУПС разработано настоящее учебно-методическое пособие, в котором систематически изложены вопросы, предполагаемые к изучению в рамках данной дисциплины при выполнении расчетно-графических работ (контрольной работы).

Целью освоения учебной дисциплины «Основы технической диагностики» является формирование у студента основных и важнейших представлений о задачах диагноза состояния объектов железнодорожного транспорта и поиска неисправностей.

Задачами освоения учебной дисциплины «Основы технической диагностики» являются:

- решение проблем технического состояния механизмов, машин и оборудования в настоящее время, в будущий момент времени и их нахождения в прошлом;

- обучение умению применять полученные знания для решения прикладных задач поиска неисправностей в реальных системах железнодорожного транспорта;

- развитие общего представления о современном состоянии вопросов развития методов и средств диагностирования, тенденциях развития принципов обслуживания и ремонта оборудования железнодорожного транспорта по «техническому состоянию» с применением автоматизированных систем технического диагностирования в России и за рубежом.

Учебная дисциплина «Основы технической диагностики» для направления подготовки дипломированных специалистов 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» входит в базовую часть профессионального цикла.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины «Основы технической диагностики» является владение следующими компетенциями:

- знанием базовых ценностей мировой культуры и готовностью опираться на них в своем личностном и общекультурном развитии; владением

культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

– способностью применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);

– способностью использовать знания о современной физической картине мира и эволюции Вселенной, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы (ПК-2);

– способностью приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ПК-3);

– способностью использовать навыки проведения измерительного эксперимента и оценки его результатов на основе знаний о методах метрологии, стандартизации и сертификации (ПК-8).

Содержание дисциплины «Основы технической диагностики» является логическим продолжением содержания дисциплин «Математика», «Информатика», «Физика», «Химия», «Материаловедение», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Основы теории надежности» и служит основой для освоения дисциплин «Эксплуатация технических средств обеспечения движения поездов», «Безопасность технологических процессов и технических средств на железнодорожном транспорте», «Электропитание железных дорог».

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов:

– аудиторные занятия – 54 часа, в т. ч.:

– лекции – 18 часов;

– практические (семинарские) занятия – 18 часов;

– лабораторные занятия – 18 часов;

– самостоятельная работа студента – 54 часа, в т. ч.:

– подготовка к практическим занятиям – 18 часов;

– подготовка к лабораторным занятиям – 18 часов;

– проработка лекционного материала – 9 часов;

– изучение теоретического материала, выносимого на самостоятельную работу – 2 часа;

– выполнение домашних заданий – 5 часов;

– подготовка к промежуточной аттестации – зачет – 2 часа.

Процесс освоения дисциплины «Основы технической диагностики» направлен на формирование следующих компетенций:

– умение использовать нормативные документы по качеству, стандартизации, сертификации и правилам технической эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и производства систем обеспечения движе-

ния поездов; использовать технические средства для диагностики технического состояния систем; использовать элементы экономического анализа в практической деятельности (ПК-15);

– умение разрабатывать и использовать нормативно-технические документы для контроля качества технического обслуживания и ремонта систем обеспечения движения поездов, их модернизации, оценки влияния качества продукции на безопасность движения поездов, осуществлять анализ состояния безопасности движения поездов (ПК-16);

– владение нормативными документами по ремонту и техническому обслуживанию систем обеспечения движения поездов; способами эффективного использования материалов и оборудования при техническом обслуживании и ремонте систем обеспечения движения поездов; владение современными методами и способами обнаружения неисправностей в эксплуатации, определения качества проведения технического обслуживания систем обеспечения движения поездов; владение методами расчета показателей качества (ПК-17);

– умение разрабатывать и использовать методы расчета надежности техники в профессиональной деятельности; обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов производства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта систем обеспечения движения поездов; осуществлять экспертизу технической документации (ПК-18);

– умение анализировать технологический процесс эксплуатации, технического обслуживания и ремонта систем обеспечения движения поездов как объекта управления (ПК-21).

В результате освоения учебной дисциплины «Основы технической диагностики» студент должен достигнуть следующих результатов образования:

знать:

– правила технической эксплуатации железных дорог и инструкции по обеспечению безопасности движения;

– нормативные, методические и руководящие материалы, касающиеся объектов его профессиональной деятельности;

– систему эксплуатации, технического обслуживания и ремонта подвижного состава железных дорог;

– организацию и технологию ремонта и восстановления деталей и узлов подвижного состава;

– назначение, состав и структуру эксплуатационной, технологической и ремонтной документации, используемой при эксплуатации, изготовлении и ремонте подвижного состава, правила ее разработки и оформления;

– права и обязанности технолога при производстве и ремонте подвижного состава;

- правила надзора за безопасной эксплуатацией подвижного состава железных дорог;
- основные схемы систем диагностирования механизмов, машин и оборудования;
- алгоритмы построения математических моделей анализа и оптимизации объектов исследования;
- статистические методы распознавания признаков состояний в объектах диагностирования;
- программы поиска мест отказов в приборах и объектах железнодорожного транспорта;

уметь:

- разрабатывать программы поиска мест отказов у объектов и их блоков, их отладку и настройку, включая задачи исследования и диагностирования приборов и систем;
- оценивать технологичность конструкторских решений, разработку технологических процессов сборки, контроля и диагностирования блоков, узлов и деталей;
- разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, инструмента, выбор оборудования, оценку экономической эффективности техпроцессов;

владеть:

- навыками инженерно-технического работника при эксплуатации и надзоре, техническом обслуживании и ремонте подвижного состава железных дорог;
- методами определения оптимальных и рациональных решений производственных задач при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте подвижного состава;
- навыками разработки и оформления ремонтной документации, составления дефектных ведомостей на детали и элементы, требующие ремонта или замены;
- опытом освидетельствования и оценки технического состояния подвижного состава;
- опытом технолога по сопровождению и контролю производства и ремонта подвижного состава;
- навыками выбора оптимального метода разработки программ поиска мест отказов, проведения измерений с выбором технических средств и обработкой результатов;
- навыками составления технической документации, включая инструкции по эксплуатации, программ испытаний, технических условий.

Учебная дисциплина «Основы технической диагностики» для направления подготовки 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» по профилю «Управление техническим состоя-

нием железнодорожного пути» входит в вариативную часть профессионального цикла.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины «Основы технической диагностики» является владение следующими компетенциями:

- способностью применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);
- способностью приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ПК-3);
- способностью использовать знание основных закономерностей функционирования биосферы и принципов рационального природопользования для решения задач профессиональной деятельности (ПК-6);
- способностью использовать навыки проведения измерительного эксперимента и оценки его результатов на основе знаний о методах метрологии, стандартизации и сертификации (ПК-9);
- способностью контролировать соответствие технической документации разрабатываемых проектов стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-27).

Содержание дисциплины «Основы технической диагностики» является логическим продолжением содержания дисциплин «Математика», «Информатика», «Физика», «Химия», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и служит основой для освоения дисциплин «Технология, механизация и автоматизация железнодорожного строительства», «Технология, механизация и автоматизация работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути», «Содержание и реконструкция мостов и тоннелей», «Путевые машины и организация ремонтов пути».

Процесс освоения дисциплины «Основы технической диагностики» направлен на формирование следующих компетенций:

- осознание социальной значимости своей будущей профессии, обладание высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-8);
- способность организовывать мониторинг и диагностику железнодорожного пути, его сооружений и обустройств, с применением современных технологий, контрольно-измерительных и диагностических средств, средств неразрушающего контроля (ПСК-2.8).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов:

- аудиторные занятия – 54 часа, в т. ч.:
 - лекции – 18 часов;
 - лабораторные занятия – 36 часов;
- самостоятельная работа студента – 54 часа, в т. ч.:

- подготовка к лабораторным занятиям – 36 часов;
- проработка лекционного материала – 9 часов;
- изучение теоретического материала, выносимого на самостоятельную работу – 2 часа;
- выполнение домашних заданий – 7 часов.

В результате освоения учебной дисциплины «Основы технической диагностики» студент должен достигнуть следующих результатов образования:

знать:

- основные схемы систем диагностирования строительных объектов и техники;
- программы поиска мест отказов в строительных объектах и техники;
- методы и принципы дефектоскопии строительных конструкций;

уметь:

- разрабатывать программы поиска мест отказов у объектов и их блоков, включая задачи исследования и диагностирования объектов и конструкций;
- оценивать технологичность конструкторских решений, разработку технологических процессов сборки, контроля и диагностирования блоков, узлов и деталей;
- разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, инструмента, выбор оборудования, оценку экономической эффективности техпроцессов;

владеть:

- навыками выбора оптимального метода разработки программ поиска мест отказов, проведения измерений с выбором технических средств и обработкой результатов;
- навыками составления технической документации, включая инструкции по эксплуатации, программ испытаний, технических условий.

В тексте пособия даны общие понятия о программах поиска места отказа, приведено описание этих программ: комбинационная программа («на основе метода И.М. Синдеева»), программы «по функциональной схеме», «вероятность – время», «по максимуму информации», «половинного разбиения». Приведены примеры разработки этих программ. Предложены студентам задания для выполнения расчетно-графических работ (контрольной работы) по дисциплине «Основы технической диагностики» по вариантам.

В приложении представлены примеры оформления титульных листов расчетно-графических работ (контрольной работы) и первых листов разработки программ.

Учебно-методическое пособие предназначено для углубленного изучения дисциплины «Основы технической диагностики» студентами специальностей на железнодорожном транспорте и может быть полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам в данной области.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных и актуальных проблем транспорта и машиностроения является повышение качества и надежности деталей, механизмов машин и оборудования. Это вызвано постоянным ростом энерговооруженности оборудования современных предприятий и транспорта, внедрением автоматизированных систем обслуживания и управления.

Для получения информации в неразрушающем контроле и диагностики используют все виды физических полей и излучений, химических взаимодействий и процессов, мониторинг с помощью транспорта (автомобильного, воздушного, морского, железнодорожного, космического), посты наблюдения (стационарные, передвижные), переносные приборы, большое количество компьютерных технологий обработки информации. Итоговым результатом становится определение остаточного ресурса или риска эксплуатации объекта с помощью соответствующих инструкций, методик и стандартов.

Использование методов и средств технической диагностики позволяет значительно уменьшить трудоемкость и время обслуживания и ремонта ответственных деталей, машин и оборудования транспорта и производств, а следовательно, и снизить эксплуатационные расходы.

Техническая диагностика эффективно используется как при производстве изделий на заводах (пооперационный и выходной контроль), так и при их эксплуатации.

Задачи технического диагностирования решаются с помощью тестового и функционального диагностирования. Тестовое диагностирование применяется, когда объект не используется по назначению. На объект подаются входные тестовые воздействия, фиксируется его реакция, которая сравнивается с эталонной. При функциональном диагностировании тестовыми воздействиями являются рабочие входные воздействия.

Техническое диагностирование является важной составляющей ежедневной практики инженеров в области разработки и эксплуатации оборудования железнодорожного транспорта. Поэтому знание основных методов и программ поиска места отказа в объектах и системах актуально в настоящее время.

В данном учебно-методическом пособии рассмотрены примеры разработки программ поиска места отказа в объектах и системах железнодорожного транспорта, а также представлены варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ (контрольной работы) студентами очной и заочной форм обучения.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММАХ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА В ОБЪЕКТАХ ДИАГНОЗА

Если при эксплуатации оборудования сетей железных дорог или при проверке их работоспособности установлен факт неработоспособности, то чаще всего возникает необходимость в поиске места отказа и выявлении последствий отказа. Опыт эксплуатации свидетельствует, что из перечисленных мероприятий наиболее трудоемким и интеллектоемким является как раз поиск места отказа в объектах диагноза (ОД). Так, на поиск места отказа в ОД в среднем затрачивается до 90 % времени, связанного с проведением всего комплекса мероприятий по отказу. В этой связи особое значение приобретает формирование у специалистов железнодорожного транспорта знаний и навыков по научно обоснованным методам программирования процессов поиска мест отказов в ОД.

Под *программой поиска места отказа* понимают заранее составленную и документально оформленную последовательность элементарных проверок (замеров контролируемых параметров) и последовательность анализа их результатов, выполняемых с целью установления причины отказа и отказавших агрегатов (узлов, систем, элементов и т. д. в зависимости от степени детальности поиска мест отказа).

Из всех возможных вариантов программ всегда имеется такой, который является оптимальным с точки зрения используемого критерия. В качестве критерия оптимальности программы поиска места отказа в ОД могут быть использованы:

- суммарное время выполнения необходимых проверок;
- суммарное количество необходимых проверок;
- суммарная стоимость проверок (например, в денежном выражении);
- суммарная стоимость (или суммарная масса) контрольно-проверочной аппаратуры (КПА), задействованной для выполнения необходимых проверок, и т. д.

Необходимо отметить, что в практике специалистов железнодорожного транспорта наибольшее распространение получил такой критерий оптимальности программ поиска места отказа в ОД, как *суммарное время выполнения необходимых проверок* t_{Σ} . В соответствии с этим критерием программа строится таким образом, чтобы обеспечить минимальное суммарное время на выявление места отказа

$$t_{\Sigma} = \min\left(\sum_{i=1}^{\Pi} t_i\right),$$

где t_i – время выполнения i -й элементарной проверки (ЭП); Π – максимальное число ЭП для выявления места отказа в ОД.

Понятно, что при наличии нескольких вариантов программ поиска места отказа в ОД выбирается тот, который обеспечивает меньшую величину критерию t_{Σ} . Если же и таких вариантов несколько, то предпочтение отда-

ется такой программе, которая обеспечивает лучшие значения другим критериям (например, суммарному количеству необходимых ЭП).

В связи с разнообразием видов оборудования железных дорог, располагаемых контрольно-проверочных средств, а также эксплуатационных условий, в практике специалистов железнодорожного транспорта применяются несколько разновидностей программ поиска места отказа в ОД.

По одному из возможных вариантов классификации программ поиска места отказа в ОД все типы программ по способу выбора контролируемых параметров и последовательности элементарных проверок условно разграничиваются на две группы:

- жесткие программы поиска места отказа в ОД;
- гибкие программы поиска места отказа в ОД.

В **жестких программах (ЖП)** последовательность ЭП определяется заранее и в ходе поиска места отказа не изменяется. Кроме того, заранее должен быть определен и перечень параметров, контролируемых в каждой ЭП.

ЖП получили наибольшее распространение в автоматических и в автоматизированных системах контроля.

В **гибких программах (ГП)** последовательность ЭП определяется в ходе поиска места отказа в ОД на основе определенных правил. Кроме того, перечень параметров, контролируемых в каждой ЭП, формируется только после анализа результатов предыдущей ЭП. Таким образом, программа (алгоритм диагноза) формируется «гибко», максимально приспособиваясь к специфике каждого конкретного отказа техники.

ГП наибольшее распространение получили при поиске места отказа способом технического осмотра, т. е. визуально-инструментально группой специалистов железнодорожного транспорта.

Все типы программ по частоте анализа результатов ЭП условно разграничивают на две группы:

- последовательные программы поиска места отказа в ОД;
- комбинационные программы поиска места отказа в ОД.

В **последовательных** программах анализ результатов проводится после каждой ЭП.

В **комбинационных** программах анализ результатов проводится только после завершения всех ЭП, когда проводится единственный обобщающий анализ.

Наиболее распространенные программы поиска места отказа в ОД условно разграничивают на две группы:

- **гибко-последовательные** программы (**ГПП**), к которым относятся программы «по максимуму информации» и «половинного разбиения»;
- **жестко-последовательные** программы (**ЖПП**), к которым относятся программы «по функциональной схеме» и «вероятность – время».

Этими программами осуществляется поиск места отказа в тех случаях, когда элементы ОД расположены последовательно друг за другом, по мере прохождения через них последовательных сигналов.

2. КОМБИНАЦИОННАЯ ПРОГРАММА ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА «НА ОСНОВЕ МЕТОДА И.М. СИНДЕЕВА»

Если для контроля технического состояния ОД использовать все контролируемые параметры (без какого-либо их отсева), то получаемые системы контроля будут перегружены датчиками, а программы диагностирования весьма громоздки. В этой связи очевидна необходимость уметь выбирать из выделенных признаков такое их минимальное количество, которое было бы необходимо и достаточно для распознавания каждого состояния ОД. В этом случае и ОД, и средства диагноза (СД) будут наиболее простыми и эффективными.

2.1. Определение состояний объекта диагноза

При диагностировании ОД обычно рассматриваются и учитываются только два характерных состояния:

- ОД функционирует;
- ОД не функционирует.

Однако с учетом комплектующих ОД (блоков, агрегатов, деталей) фактическое число состояний может быть существенно больше, например:

- первый блок ОД функционирует;
- второй блок ОД не функционирует;
- третий блок ОД функционирует и т. д.

В этой связи задача определения числа состояний ОД по существу сводится к задаче определения числа таких блоков или агрегатов, отказ которых приводит к отказу всего ОД в целом.

В общем случае, когда ОД состоит из N агрегатов, возможное число состояний E ОД может быть определено по формуле

$$E = 2^N.$$

Число состояний, когда ОД не функционирует (ОД отказал), равно

$$S = E - 1.$$

Например, пусть рассматриваемый ОД состоит из двух последовательно соединенных агрегатов (рис. 1).

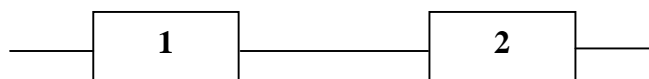


Рис. 1. Схема объекта диагноза из двух агрегатов

Тогда можно выделить возможные состояния ОД:

- отказал первый агрегат;
- отказал второй агрегат;
- отказали первый и второй агрегаты;
- ОД функционирует (не отказали ни первый, ни второй агрегаты).

Очевидно, что при последовательном соединении элементов в рассматриваемом примере первые три состояния свидетельствуют о неработоспособности всей системы, поэтому число состояний, соответствующих отказу всего ОД, будет равно $S = E - 1 = 2^2 - 1 = 3$.

При контроле реальных технических систем, состоящих из большого числа деталей (элементов), даже при учете для каждого элемента только двух состояний общее количество возможных состояний E оказывается чрезвычайно большим. Например, у ОД, состоящего из 200 деталей, общее число возможных состояний $E = 2^{200}$, а число состояний неправильного функционирования $S = 2^{200} - 1$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S ОД в технической диагностике принимают следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в ОД отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний ОД может быть определено по формуле

$$S = N,$$

где N – количество элементов в ОД.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. В этой связи число возможных состояний, практически приводящих к отказу всего ОД, равно

$$S < N.$$

Перечисленные допущения позволяют существенно (на несколько порядков) снизить размерность числа рассматриваемых состояний у контролируемых объектов.

В технической диагностике принято возможные неработоспособные состояния S назначать в виде отказов их элементов. Например, для рассматриваемого ОД имеем:

- S_1 – отказ блока 1;
- S_2 – отказ блока 2;
- S_3 – отказ блоков 1 и 2.

2.2. Определение контролируемых параметров объекта диагноза

Контролируемые параметры (признаки состояний) ОД определяются отдельно для каждого его агрегата из эксплуатационной документации

(технического описания, инструкции по технической эксплуатации, альбома формулярных схем, принципиальных и электрических схем и т. д.).

В качестве контролируемых признаков состояний ОД можно использовать отклонение от установленной нормы значений тех или иных контролируемых параметров, например, такими признаками могут быть:

- x_1 – повышение давления;
- x_2 – величина напряжения;
- x_3 – величина силы тока;
- x_4 – величина сопротивления изоляции;
- x_5 – повышение температуры;
- x_6 – величина сопротивления контакта;
- x_7 – величина сопротивления обмоток;
- x_8 – повышение уровня шума.

Для каждого ОД и его элементов выбор контролируемых параметров и признаков состояний производится индивидуально с учетом их функционирования и возможности применять разные СД для контроля.

2.3. Схема причинно-следственных связей состояний агрегатов и их признаков состояний

Для определения типа взаимосвязи (или отсутствия взаимосвязи) между wybranными состояниями ОД и предварительно wybranными признаками состояний (параметрами) обычно используют или логический анализ, или натурный эксперимент.

Рассмотрим упрощенную схему сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки (рис. 2), которая состоит из 5 элементов, характеризуемых 8 признаками их состояний (см. пп. 2.2).

На рис. 3 представлена схема причинно-следственных связей между состояниями S_i и признаками состояний x_i этой системы. Следует отметить, что расположение признаков состояний на схеме допускается для удобства анализа в любой последовательности.

Построенная схема причинно-следственных связей в принципе позволяет выбрать минимально необходимое количество признаков состояний, необходимых для контроля и выявления всех пяти неработоспособных состояний, ибо ясно, что число предварительно отобранных признаков состояний явно избыточно. Однако для облегчения отбора минимально необходимого количества признаков состояний схему причинно-следственных связей представляют не в графической, а в табличной (матричной) форме (табл. 1). Табличная форма строится на основе графической схемы.

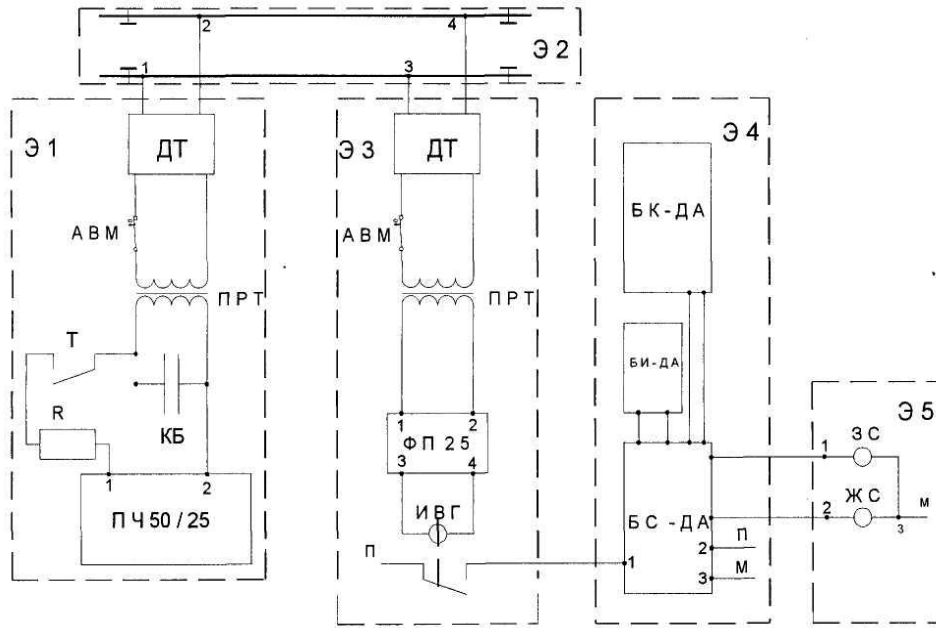


Рис. 2. Упрощенная схема сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки:
 Э 1 – питающий конец рельсовой цепи; Э 2 – рельсовая цепь;
 Э 3 – релейный конец рельсовой цепи, состоящий из приборов и элементов рельсовой цепи, находящихся на сигнальной точке, ограждающей данный блок-участок; Э 4 – дешифраторная ячейка, состоящая из приборов, используемых для расшифровки принимаемых кодов и питания приборов; Э 5 – сигнальные реле

Состояния ОД

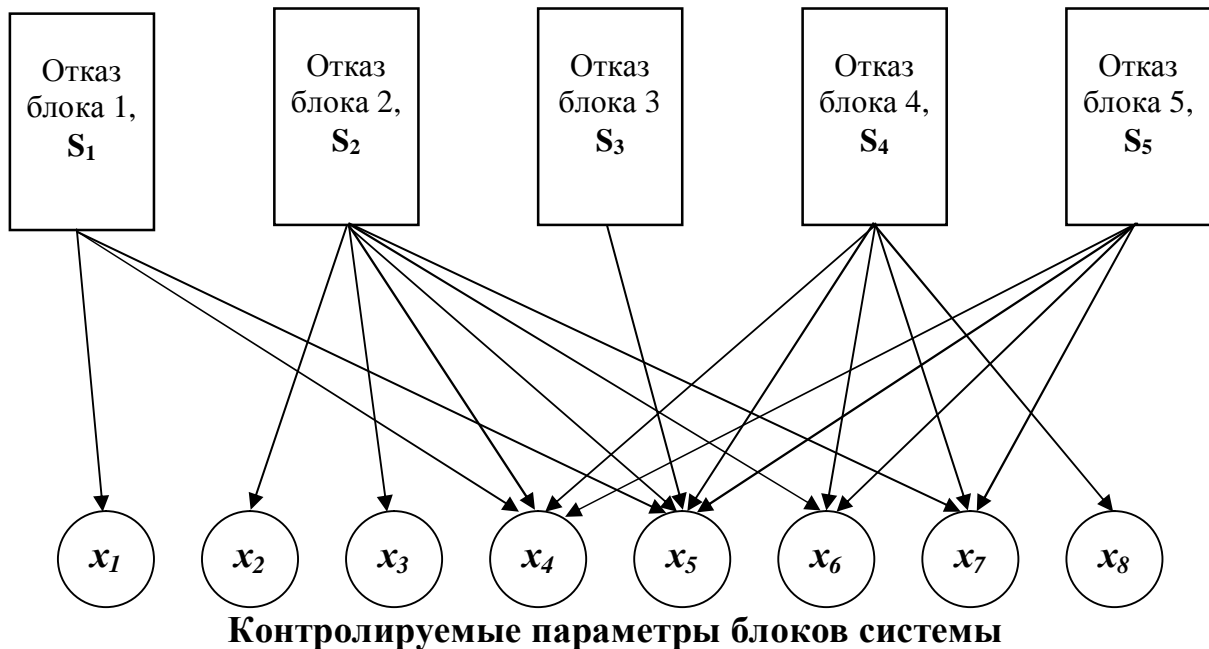


Рис. 3. Схема взаимосвязей состояний и признаков состояний

Таблица 1

Признаки состояний	Состояния				
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
x_1	1	0	0	0	0
x_2	0	1	0	0	0
x_3	0	1	0	0	0
x_4	1	1	0	1	1
x_5	1	1	1	1	1
x_6	0	1	0	1	1
x_7	0	1	0	1	1
x_8	0	0	0	1	0

В таблице строки образованы признаками состояний x_i , столбцы – состояниями S_i , а элементами матрицы являются нули или единицы. Нуль проставляется на пересечении строки и столбца в том случае, если соответствующий признак состояния не реагирует на соответствующее состояние. Единица проставляется в противном случае.

2.4. Оценка информативности контролируемых параметров (признаков состояний) объекта диагноза

Для обеспечения поиска места отказа за минимальное время необходимо произвести отбор из первоначально выделенных признаков состояний ОД такого их минимального количества, которое было бы необходимо и достаточно для распознавания каждого состояния ОД. Именно в этом случае и ОД, и СД будут наиболее простыми и эффективными.

Выбор минимального количества признаков состояний обычно проводится на основе элементов теории информации, и в частности на «основе метода И.М. Синдеева». Необходимо отметить, что данный метод может быть использован не только для решения задачи минимизации количества контролируемых параметров (признаков состояний), но и для решения задачи определения мест отказа в системе.

Информационную неопределенность системы, которая может находиться в N состояниях, количественно можно оценить энтропией $H(S)$

$$H(S) = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \log_2 P_i,$$

где P_i – вероятность того, что объект контроля находится в i -м состоянии.

За единицу энтропии принимается неопределенность состояния простейшей системы, состоящей из двух равновероятных состояний, тогда при $N = 2$, $P_1 = P_2 = 0,5$ получим

$$H(S) = -(0,5 \cdot \log_2 0,5 + 0,5 \cdot \log_2 0,5) = 1 \text{ бит}.$$

При контроле технического состояния системы часто принимается допущение о равной вероятности отказа всех ее элементов, т. е. о равной ве-

роятности состояний системы. Для случая, когда имеется N равных вероятных состояний ОД ($P_1 = P_2 = \dots = P_N = 1/N$), величина энтропии системы $H(S)$ будет равна

$$H(S) = -\sum_{i=1}^N P_i \cdot \log_2 P_i = -\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{N} = \log_2 N.$$

Используя предыдущую зависимость, можно сказать, что энтропия системы $H(S)$, например, при $N = 8$ будет равна

$$H(S) = \log_2 8 = 3.$$

Очевидно, что по мере проверки наличия тех или иных признаков состояний, т. е. по мере проверки численных значений контролируемых параметров, информационная неопределенность системы будет уменьшаться. Так, если перед проверкой неопределенность системы оценивается энтропией $H(S)$, то после проверки признака x_i уменьшившаяся энтропия $H(S/x_i)$ будет равна

$$H(S/x_i) = P_{x_i} H_{x_i}(S) + P'_{x_i} H'_{x_i}(S),$$

где P_{x_i} – вероятность того, что система находится в тех состояниях, в которых признак состояния x_i ОД критичен, или $x_i = 1$; величина P_{x_i} может быть определена по формуле

$$P_{x_i} = \frac{m}{N},$$

где m – число единиц в строке данного признака состояния x_i ;

P'_{x_i} – вероятность того, что система находится в тех состояниях, к которым признак состояния x_i не критичен, или $x_i = 0$; очевидно, что величина P'_{x_i} может быть определена по формуле

$$P'_{x_i} = \frac{n}{N},$$

где n – число единиц в строке данного признака состояния x_i ;

$H_{x_i}(S)$ – энтропия тех m состояний системы, к которым признак состояния x_i критичен, или $x_i = 1$; величина $H_{x_i}(S)$ по аналогии равна

$$H_{x_i}(S) = \log_2 m;$$

$H'_{x_i}(S)$ – энтропия тех n состояний системы, к которым признак состояния x_i не критичен, или $x_i = 0$; величина $H'_{x_i}(S)$ по аналогии равна

$$H'_{x_i}(S) = \log_2 n.$$

Тогда величину информации I_{x_i} , которую несет проверка признака состояния x_i , можно количественно оценить как разность энтропии системы перед проверкой признака состояния $H(S)$ и энтропии системы после проверки этого признака состояния $H(S/x_i)$. Таким образом, с учетом предыдущих формул, а также учитывая, что $m + n = N$, можно записать

$$I_{x_i} = H(S) - H(S/x_i) = \log_2 N - \left(\frac{m}{N} \cdot \log_2 m + \frac{n}{N} \cdot \log_2 n \right).$$

Подставив вместо $\log_2 N$ равнозначное выражение

$$\log_2 N = \frac{m}{N} \cdot \log_2 N + \frac{n}{N} \cdot \log_2 N$$

и выполнив преобразования, окончательно получим формулу для расчета информативности признаков I_{x_i}

$$I_{x_i} = -\left(\frac{m}{N} \cdot \log_2 \frac{m}{N} + \frac{n}{N} \cdot \log_2 \frac{n}{N} \right).$$

Информативность того или иного признака (параметра) помимо величины I_{x_i} можно оценить и другими показателями, например показателем

$$Z_{x_i} = m_i \cdot n_i.$$

В отличие от I_{x_i} , измеряемой в битах, величина Z_{x_i} является безразмерной, но пропорциональной I_{x_i} .

Обычно подсчет информативности признаков состояний производится в безразмерной форме.

2.5. Минимизация набора контролируемых параметров (признаков состояний) объекта диагноза

Для определения минимального и достаточного количества признаков состояний ОД вначале из всех предварительно отобранных необходимо исключить явно нерациональные, например, с точки зрения сложности их выявления и контроля, дублирующие другие признаки и т. д. Затем из оставшихся признаков состояний отбирают такие, которые несут максимум информации при каждой очередной ЭП. Процесс отбора прекращают, как только отобранные признаки состояний в сумме окажутся способными нести информацию обо всех состояниях контролируемого объекта. Описанный подход к определению минимального количества контролируемых параметров (признаков состояний) нашел наибольшее распространение.

Задачу определения минимального количества признаков состояний решают поэтапно.

На первом этапе анализируются данные предварительно составленной таблицы взаимосвязей состояний и признаков состояний (см. табл. 2.1), а также информативности признаков. При этом зачеркиваются строки, соответствующие следующим признакам состояний:

- которые не реагируют ни на одно из состояний, т. е. признакам состояний, содержащим в строке одни нули;
- которые реагируют на все состояния, т. е. признакам состояний, содержащим в строке одни единицы;
- которые дублируют другие признаки состояний, т. е. имеют одина-

ковое расположение единиц и нулей. Из двух и более одинаковых по информативности признаков состояний вычеркивают тот (те), которые сложнее контролировать в эксплуатационной практике.

Вычеркнутые строки, а, соответственно, вычеркнутые признаки состояний, из дальнейшего рассмотрения исключаются. По результатам первого этапа формируется сокращенная таблица.

На втором этапе путем последовательного условного разбиения сокращенной таблицы (матрицы) на ряд более мелких таблиц (подматриц) выполняется отбор необходимого и достаточного количества признаков состояний. Речь идет о последовательном условном разбиении полученной таблицы. При каждом разбиении определяется самый информативный признак, включаемый в искомую группу минимально необходимых и достаточных признаков состояний.

Условное разбиение исходной матрицы на подматрицы осуществляется в следующей последовательности:

1. В исходной матрице устанавливается и фиксируется наиболее информативный признак состояния. Если таких признаков состояний несколько, то выделяется и фиксируется тот из них, который легче всего контролировать в эксплуатации. Такими признаками состояний по рангу являются: величины напряжения, сопротивления, силы тока, мощности, частоты, давления и температуры.

2. Рассматривая строку наиболее информативного и зафиксированного признака состояния, выявляют состояния, на которые данный признак состояния реагирует, а также на какие не реагирует.

3. Состояния, на которые наиболее информативный признак состояния реагирует, образуют столбцы правой подматрицы. Строки правой подматрицы образуют те признаки состояний, которые реагируют хотя бы на одно из указанных в столбце состояний. Элементами правой подматрицы являются единицы или нули, переписываемые из исходной матрицы и стоящие в ней на пересечении соответствующих строк и столбцов.

4. Состояния, на которые выделенный ранее информативный признак состояния не реагирует, образуют столбцы левой подматрицы. Строки левой подматрицы образуют те признаки состояний, которые реагируют хотя бы на одно из указанных в столбцах состояний. Элементами левой подматрицы являются единицы или нули, переписываемые из соответствующих мест исходной матрицы.

5. Для каждого параметра отдельно в каждой левой и правой подматрицах рассчитываются показатели информативности признаков состояний

$$Z_{x_i} = \sum_{i=1}^l (m_i \cdot n_i),$$

где l – количество подматриц, в которые включен рассматриваемый признак состояния x_i .

Рассчитанные значения Zx_i по каждому признаку вписываются в соответствующие строки и столбцы подматриц.

Условно считая каждую ранее полученную подматрицу за исходную матрицу, повторяют (для каждой подматрицы отдельно) все действия по пунктам 1–5. Итеративное (повторяющееся) дробление на подматрицы повторяется до тех пор, пока реагирование или нереагирование того или иного признака состояния однозначно не укажет на строго определенное состояние контролируемого объекта.

Процесс дробления исходной матрицы на подматрицы обычно производят в виде «ветвящегося» дробления (рис. 4).

Решение задачи прекращается, как только путем выделения и фиксирования наиболее информативных признаков состояний будут однозначно указаны все состояния контролируемого объекта контроля.

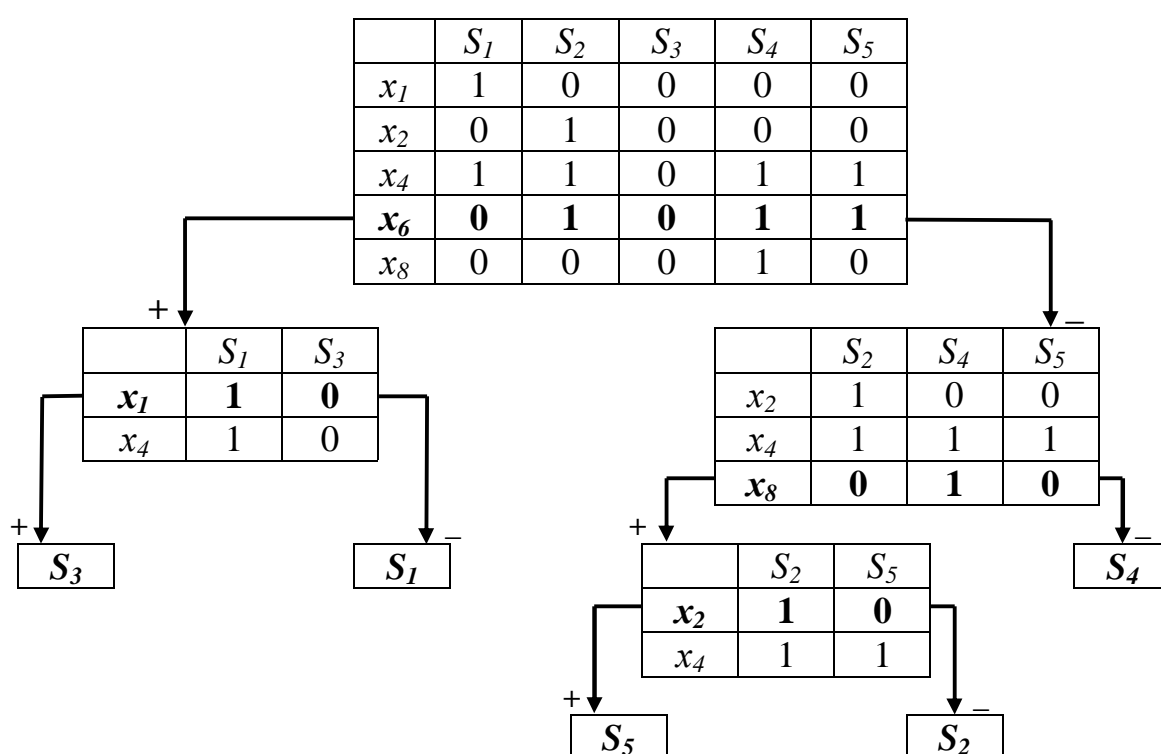


Рис. 4. Примерная схема выявления состояний путем «ветвящегося» дробления

Третий этап является завершающим. На этом этапе анализируются и оформляются результаты выполнения первых двух этапов.

Оформление результатов заключается в заполнении итоговой таблицы. Все состояния контролируемого объекта образуют столбцы. Все наиболее информативные признаки состояний, выявленные на втором этапе, образуют строки итоговой таблицы. Элементами итоговой таблицы, представляемыми на пересечении столбцов и строк, являются символы «+» или «-», при этом символ «+» указывает на то, что признак состояния при контроле оказался в норме (левые подматрицы), а символ «-» – что признак состояния при контроле оказался не в норме (правая подматрица).

На завершающем этапе оформляют таблицу (матрицу) кодов, которую можно понимать и как искомую группу контролируемых признаков состояний, и как алгоритм (в матричном виде) поиска места отказа в объекте диагностирования. В ней размещаются элементы итоговой таблицы, а пустые места на пересечении строк и столбцов заполняются символом «+».

Пример таблицы кодов показан в табл. 2.

Таблица 2

Параметры	Состояния				
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
x_1	–	+	+	+	+
x_2	+	–	+	+	+
x_6	+	–	+	–	–
x_8	+	+	+	–	+

Рассмотренные процедуры формирования достаточного набора контролируемых параметров (признаков состояний) позволяют заключить:

- подход «метода И.М. Синдеева» позволяет уменьшить до минимума число контролируемых параметров (признаков состояний);
- достаточное число контролируемых параметров (признаков состояний) оказывается меньше числа состояний ОД, что возможно благодаря комплексному использованию результатов замера параметров при его диагностировании;
- таблица кодов представляет эффективный алгоритм поиска места отказа в системе. Так, при наличии отказа в системе необходимо замерить все выделенные параметры, расположенные в таблице кодов. Если какой-то параметр окажется не в норме, а другие параметры – в норме, то произошло, например, событие S_1 (отказ блока 1), и т. д.

Необходимо отметить, что алгоритмы поиска места отказа обычно оформляют в виде графа, например в виде «ветвящегося дерева» (рис. 5).

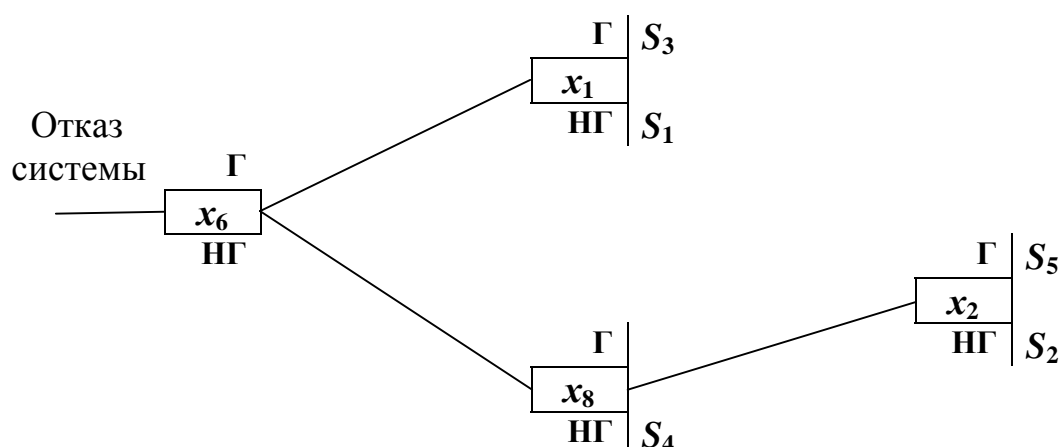


Рис. 5. Схема алгоритма поиска места отказа:

- Γ – проверяемый параметр «годен» (соответствует требованиям документации);
- НГ – проверяемый параметр «не годен»; x_i – i -й проверяемый параметр;
- S_j – отказ j -й сборочной единицы (агрегата)

2.6. Пример разработки комбинационной программы поиска места отказа «на основе метода С.М. Синдеева»

Рассмотрим схему упрощенной микропроцессорной схемы сигнальной точки автоблокировки АБ-4КЕ (рис. 6).

Комбинационную программу поиска места отказа «на основе метода И.М. Синдеева» для этой системы формируем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему системы (рис. 7), и определяем, что система состоит из 15 комплектующих блоков, т. е. $N = 15$.

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний блоков системы и их контролируемых параметров (признаков состояний).

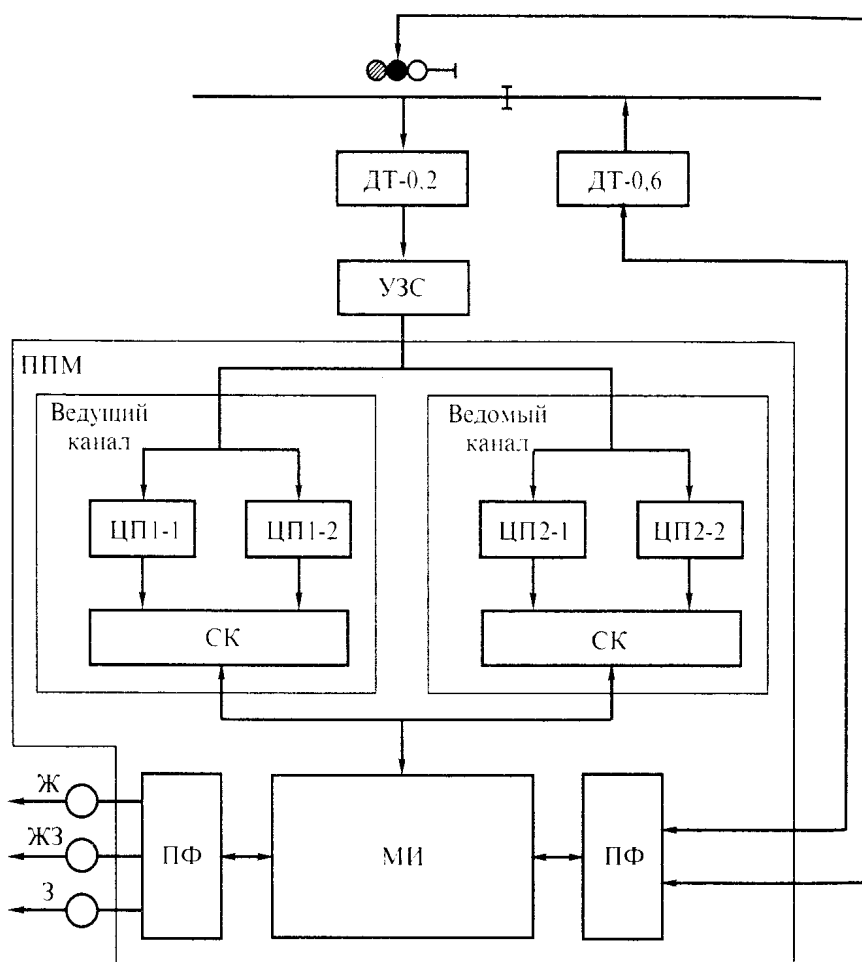


Рис. 6. Схема упрощенной микропроцессорной схемы сигнальной точки автоблокировки АБ-4КЕ:

*ДТ-0,2 – дроссель-трансформатор; ДТ-06 – дроссель-трансформатор;
УЗС – устройство защиты и согласования; ППМ – приемопередатчик;
МИ – модуль интерфейса; ПФ – входная плата фильтра; ПФ – выходная плата фильтра; Ж, ЖЗ, З – сигнальное реле*

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{15} = 32768$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{15} - 1 = 32767$.

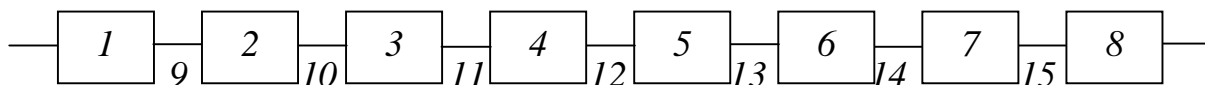


Рис. 7. Структурная схема системы

Для уменьшения числа состояний S системы принимаем следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 15$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний системы S равно всего лишь 8.

Таковыми состояниями являются:

- S_1 – отказ блока 1;
- S_2 – отказ блока 2;
- S_3 – отказ блока 3;
- S_4 – отказ блока 4;
- S_5 – отказ блока 5;
- S_6 – отказ блока 6;
- S_7 – отказ блока 7;
- S_8 – отказ блока 8.

1.3. В качестве признаков перечисленных состояний будем использовать отклонение от установленной нормы значений тех или иных параметров. Из эксплуатационной документации выбираем такие признаки состояний, которые характеризуют состояние каждого блока системы:

- x_1 – повышение уровня шума;
- x_2 – величина напряжения;
- x_3 – повышение температуры;
- x_4 – повышение давления;
- x_5 – величина силы тока;
- x_6 – величина сопротивления обмоток;
- x_7 – величина сопротивления контакта;
- x_8 – величина сопротивления изоляции.

1.4. Для определения типа взаимосвязи (или отсутствия взаимосвязи) между выбранными состояниями и предварительно выбранными признаками состояний обычно используют или логический анализ, или натурный эксперимент. Применительно к системе на рис. 8 представлена схема причинно-следственных связей между выбранными состояниями S_i и признаками состояний x_i .

Построенная схема причинно-следственных связей в принципе позволит выбрать минимальное количество признаков состояний, необходимых для контроля и выявления всех восьми неработоспособных состояний, ибо ясно, что число предварительно отобранных признаков состояний явно избыточно.

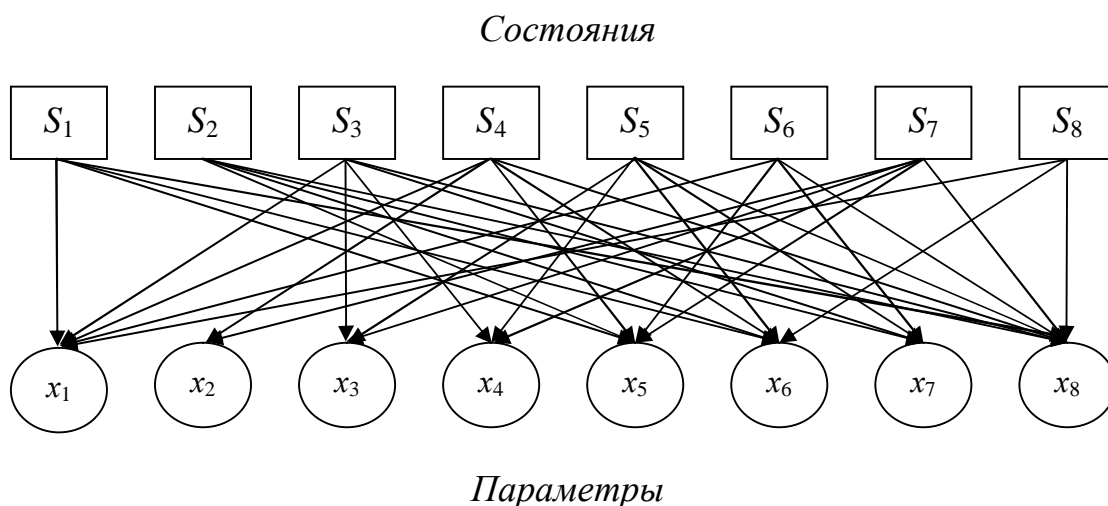


Рис. 8. Схема взаимосвязи состояний и признаков системы

Для облегчения отбора минимально необходимого количества признаков схему причинно-следственных связей представляем не в графической, а в табличной (матричной) форме (табл. 3).

В таблице строки образованы признаками состояний, а столбцы – состояниями. Элементами матрицы являются нули или единицы. Ноль проставляется на пересечении строки и столбца в том случае, если соответствующий признак состояния не реагирует на соответствующее состояние. Единица проставляется в противном случае.

Таблица 3

<i>Признаки состояний</i>	<i>Состояния</i>							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
x_1	1	0	1	1	0	1	0	1
x_2	0	0	0	1	0	0	1	0
x_3	0	0	1	0	1	0	1	0
x_4	0	0	1	0	1	0	1	0
x_5	1	1	0	1	0	1	1	0
x_6	1	1	0	1	1	0	0	1
x_7	0	1	1	0	1	1	0	0
x_8	1	1	1	1	1	1	1	1

1.5. Для определения минимального и достаточного количества признаков состояний вначале из всех предварительно отобранных необходимо исключить явно нерациональные (например, с точки зрения сложности их выявления и контроля, дублирующие другие признаки состояний и т. д.). Затем из оставшихся признаков состояний в минимально необходимую и достаточную группу отбирают такие, которые несут максимум информации при каждой очередной проверке. Процесс отбора в минимально необходимую и достаточную группу прекращают, как только отобранные признаки в сумме окажутся способными нести информацию обо всех состояниях контролируемого объекта. При этом необходимо определить информативности каждого признака системы по формуле

$$Z_{x_i} = m_i \cdot n_i,$$

где m_i , n_i – соответственно количество единиц и нулей в i -й строке, соответствующей признаку состояния x_i в таблице.

Полученные данные заносим в табл. 4.

Таблица 4

Признаки состояний	Состояния								Информативность Z_{x_i}
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	
x_1	1	0	1	1	0	1	0	1	15
x_2	0	0	0	1	0	0	1	0	12
x_3	0	0	1	0	1	0	1	0	15
x_4	0	0	1	0	1	0	1	0	15
x_5	1	1	0	1	0	1	1	0	15
x_6	1	1	0	1	1	0	0	1	15
x_7	0	1	1	0	1	1	0	0	16
x_8	1	1	1	1	1	1	1	1	0

1.6. Разрабатываем программу.

На первом этапе анализируем данные предварительно составленной таблицы взаимосвязей состояний и признаков состояний (см. табл. 3), а также информативности признаков состояний. При этом зачеркиваем строки, соответствующие следующим признакам состояний:

- которые не реагируют ни на одно из состояний, т. е. признакам состояний, содержащим в строке одни нули, – в таблице таких признаков состояний нет;

- которые реагируют на все состояния, т. е. признакам состояний, содержащим в строке одни единицы, – в таблице таким признаком состояния является x_8 ;

- которые дублируют другие признаки состояний, т. е. имеют одинаковое расположение единиц и нулей. Из двух и более одинаковых по информативности признаков состояний вычеркиваем тот (те), который сложнее контролировать в эксплуатационной практике.

В табл. 4 одинаковыми по информативности являются признаки состояний x_3 и x_4 . В группе более сложно контролируемым является признак состояния x_4 . Именно этот признак должен быть вычеркнутым.

Вычеркнутые строки, а соответственно, вычеркнутые признаки состояний из дальнейшего рассмотрения исключаем. По результатам первого этапа формируем сокращенную таблицу (табл. 5).

Таблица 5

Признаки состояний	Состояния								Информативность Zx_i
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	
x_1	1	0	1	1	0	1	0	1	15
x_2	0	0	0	1	0	0	1	0	12
x_3	0	0	1	0	1	0	1	0	15
x_5	1	1	0	1	0	1	1	0	15
x_6	1	1	0	1	1	0	0	1	15
x_7	0	1	1	0	1	1	0	0	16

На втором этапе путем последовательного условного разбиения сокращенной таблицы (матрицы) на ряд более мелких таблиц (подматриц) выполняем отбор необходимого и достаточного количества признаков состояний. Речь идет о последовательном условном разбиении предыдущей таблицы. При каждом разбиении определяем самый информативный признак состояния, включаемый в искомую группу минимально необходимых и достаточных признаков состояний.

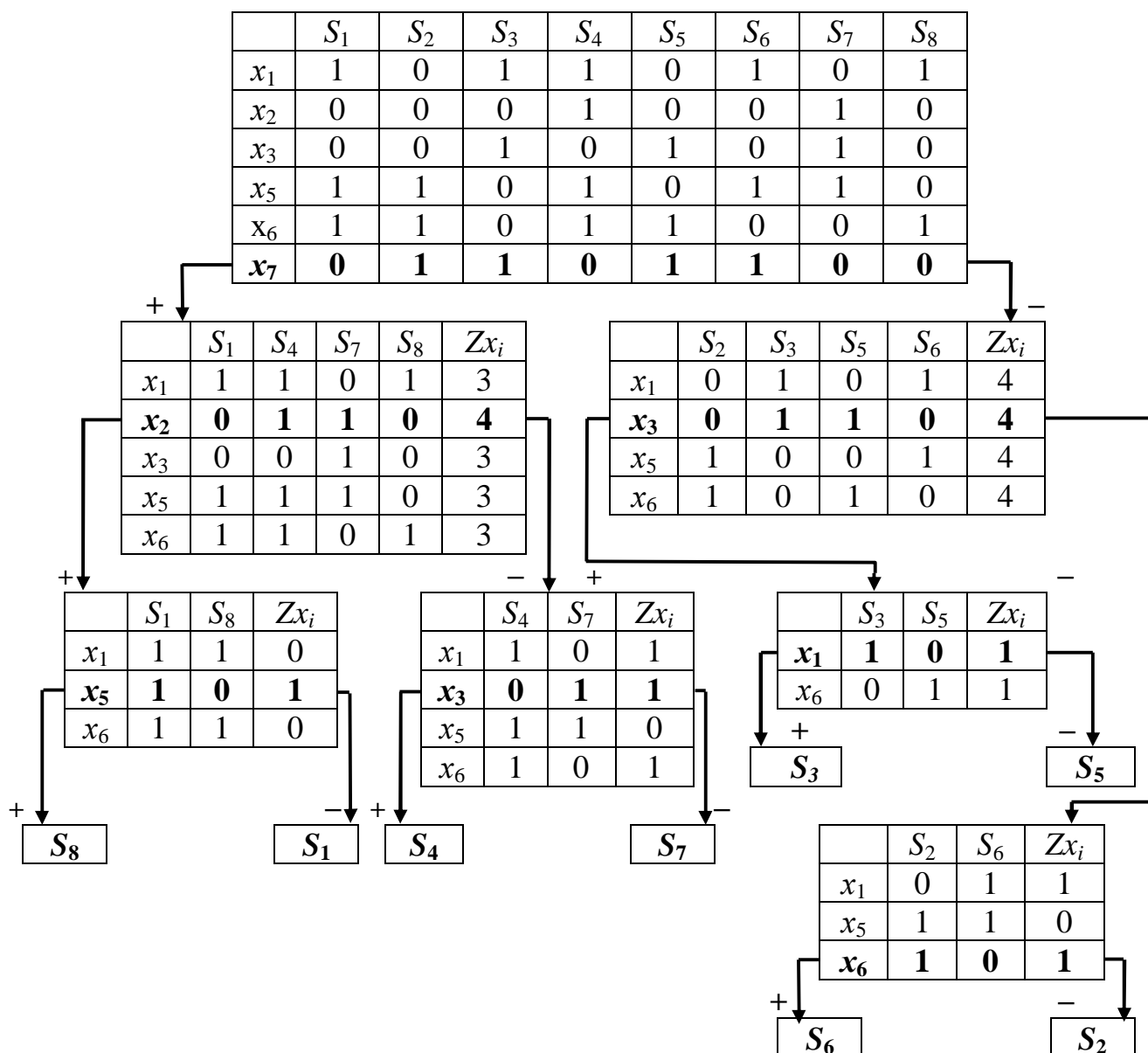
Условное разбиение исходной матрицы на подматрицы осуществляем в следующей последовательности:

1. В исходной матрице устанавливается и фиксируется наиболее информативный признак состояния (в нашем случае это x_7) (см. табл. 5).

2. Рассматривая строку признака x_7 , выявляем состояния, на которые данный признак реагирует (в нашем случае это S_2 , S_3 , S_5 и S_6), а также на какие не реагирует (в нашем случае это S_1 , S_4 , S_7 и S_8).

3. Состояния, на которые признак состояния x_7 реагирует (в нашем случае это S_2 , S_3 , S_5 и S_6), образуют столбцы правой подматрицы (рис. 9). Строки правой подматрицы образуют те признаки состояний, которые реагируют хотя бы на одно из указанных в столбце состояний (в нашем случае это x_1 , x_3 , x_5 и x_6). Элементами правой подматрицы являются единицы или нули, переписываемые из исходной матрицы и стоящие в ней на пересечении соответствующих строк и столбцов (см. табл. 5).

4. Состояния, на которые выделенный ранее признак состояния x_7 не реагирует (в нашем случае это S_1 , S_4 , S_7 и S_8), образуют столбцы левой подматрицы (рис. 9). Строки левой подматрицы образуют те признаки состояний, которые реагируют хотя бы на одно из указанных в столбцах состояний (в нашем случае это x_1 , x_2 , x_3 , x_5 и x_6). Элементами левой подматрицы являются единицы или нули, переписываемые из соответствующих мест исходной матрицы.



Примечание: «+» – если при проверке параметра он в норме, «-» – не в норме

Рис. 9. Схема выявления состояний

5. Для каждого признака отдельно в каждой левой и правой подматрицах рассчитываем показатели информативности признаков состояний

$$Z_{x_i} = \sum_{i=1}^l (m_i \cdot n_i),$$

где l – количество подматриц, в которые включен рассматриваемый признак состояния x_i .

Рассчитанные значения Z_{x_i} по каждому признаку состояния вписываем в соответствующие строки и столбцы подматриц.

Условно считая каждую ранее полученную подматрицу за исходную матрицу, повторяем (для каждой подматрицы отдельно) все действия по

пунктам 1–5. Итеративное (повторяющееся) дробление на подматрицы повторяем до тех пор, пока реагирование или нереагирование того или иного признака состояния однозначно не укажет на строго определенное состояние контролируемого элемента системы. Процесс дробления исходной матрицы на подматрицы производим в виде «ветвящегося» дробления (рис. 8).

Решение задачи прекращаем, как только путем выделения и фиксирования наиболее информативных признаков будут однозначно указаны все состояния контролируемой системы $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$.

Третий этап является завершающим. На этом этапе анализируем и оформляем результаты выполнения первых двух этапов. Оформление результатов заключается в заполнении итоговой таблицы. Все состояния контролируемого объекта образуют столбцы (в нашем случае это $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$). Все наиболее информативные признаки состояний, выявленные на втором этапе, образуют строки итоговой таблицы (табл. 6) (в нашем случае это x_1, x_2, x_3, x_5 и x_7).

Таблица 6

Параметры	Состояния							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
x_1		+	+		–	–		
x_2	+			–			–	+
x_3		–	+	+	+	–	–	
x_5	–							+
x_7	+	–	–	+	–	–	+	+

Элементами итоговой таблицы, проставляемыми на пересечении столбцов и строк, являются символы «+» или «–». Эти символы проставляем с использованием рис. 9.

На завершающем этапе оформляем матрицу кодов, которую можно понимать и как искомую группу контролируемых признаков состояний, и как алгоритм (в матричном виде) поиска места отказа в системе диагностирования (табл. 7).

Таблица 7

Параметры	Состояния							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
x_1	+	+	+	+	–	–	+	+
x_2	+	+	+	–	+	+	–	+
x_3	+	–	+	+	+	–	–	+
x_5	–	+	+	+	+	+	+	+
x_7	+	–	–	+	–	–	+	+

Рассмотренные процедуры формирования достаточного набора контролируемых параметров (признаков состояний) позволяют заключить:

1. Программа «на основе метода И.М. Синдеева» позволяет уменьшить до минимума число контролируемых параметров (признаков состояний) с 8 до 5.

2. Достаточное число контролируемых параметров (признаков состояний) оказалось меньше числа состояний системы, что возможно благодаря комплексному использованию результатов замера параметров при диагностировании системы.

3. Таблица кодов представляет эффективный алгоритм поиска места отказа в системе.

При наличии отказа в системе необходимо измерить пять параметров x_1 , x_2 , x_3 , x_5 и x_7 . Для замера параметра x_1 выбираем бытовой диктофон (пп. 7.2.2 [1]), для x_2 – указатель напряжения двухполюсный универсальный «Комби» (п. 7.8 [1]), для x_3 – высокотемпературный пирометр «Thermopoint 90» (пп. 7.2.5 [1]), для x_5 – термоэлектрический амперметр (пп. 7.15.2 [1]) и для x_7 – измеритель сопротивления М-16 (пп. 7.10.3 [1]).

Так, когда после измерения этих параметров оказалось, что:

– если параметр x_5 окажется не в норме, а четыре другие параметра x_1 , x_2 , x_3 и x_7 в норме, то произошло событие S_1 – отказ блока 1;

– если после замеров пяти параметров параметры x_1 , x_2 и x_5 окажутся в норме, а параметры x_3 и x_7 не в норме, то произошло событие S_2 – это отказ блока 2;

– если параметр x_7 окажется не в норме, а четыре другие параметра x_1 , x_2 , x_3 и x_5 в норме, то произошло событие S_3 – это отказ блока 3;

– если параметр x_2 окажется не в норме, а четыре другие параметра x_1 , x_3 , x_5 и x_7 в норме, то произошло событие S_4 – это отказ блока 4;

– если после замеров пяти параметров параметры x_2 , x_3 и x_5 окажутся в норме, а параметры x_1 и x_7 не в норме, то произошло событие S_5 – это отказ блока 5;

– если после замеров пяти параметров параметры x_2 и x_5 окажутся в норме, а параметры x_1 , x_3 и x_7 не в норме, то произошло событие S_6 – это отказ блока 6;

– если после замеров пяти параметров параметры x_1 , x_5 и x_7 окажутся в норме, а параметры x_2 и x_3 не в норме, то произошло событие S_7 – это отказ блока 7;

– если после замеров пяти параметров параметры x_1 , x_2 , x_3 , x_5 и x_7 окажутся в норме, то не произошло событие S_8 – это отказ блока 8.

Алгоритм поиска места отказа оформляем в виде графической схемы, которая представлена на рис. 10.

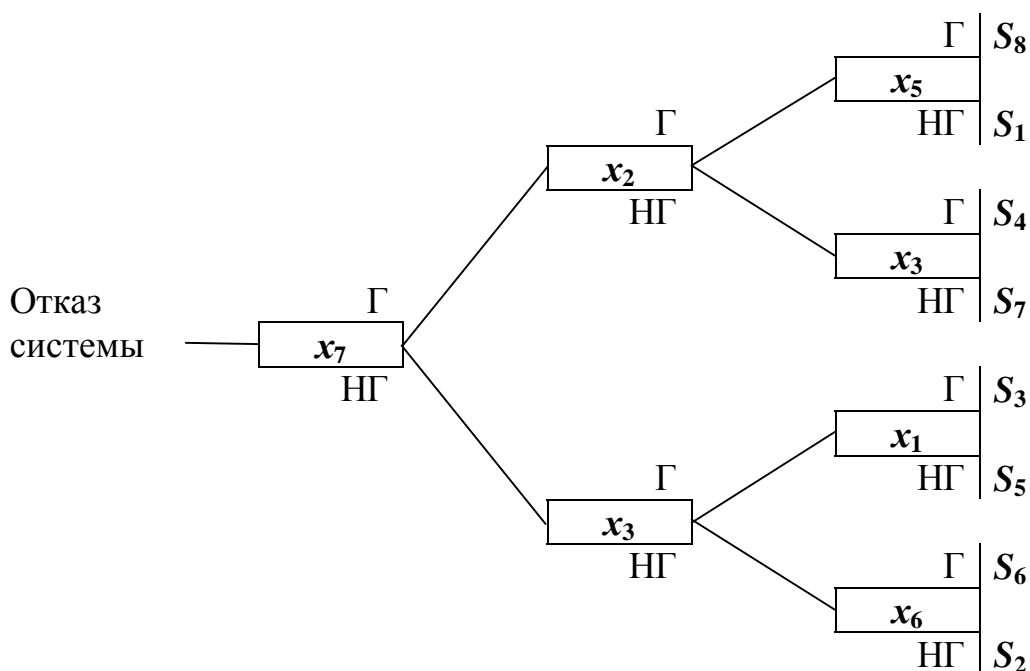


Рис. 10. Схема алгоритма поиска места отказа в объекте диагноза:
Г – проверяемый параметр «годен» (соответствует требованиям документации);
НГ – проверяемый параметр «не годен»; x_i – i -й проверяемый параметр;
 S_j – отказ j -й сборочной единицы (агрегата)

2.7. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 1 (контрольной работы)

Расчетно-графическая работа № 1 (контрольная работа) на тему «Разработка комбинационной программы поиска места отказа в системах обеспечения движения поездов (в строительстве железных дорог, мостов и транспортных тоннелей)» выполняется по вариантам табл. 8, которые задаются преподавателем каждому студенту.

Студент на отдельном белом листе формата А4 формирует задание на расчетно-графическую работу (контрольную работу) согласно представленному примеру, показанному в приложении 1 настоящего пособия.

Расчетно-графическая работа (контрольная работа) выполняется на белых листах формата А4 в рукописном или печатном виде на ПЭВМ в соответствии с примером по пп. 2.6. Пример оформления титульного листа расчетно-графической работы (контрольной работы) представлен в приложении 2 настоящего пособия. На титульном листе после наименования работы:

- первыми буквами указывается вид работ: РГР при выполнении расчетно-графической работы или КР при выполнении контрольной работы;
- шифр 420400 обозначает код подразделения исполнителя, где изучается учебная дисциплина, т. е. кафедры «Теоретическая механика и приборостроение»;

– шифр 190901.65 обозначает шифр специальности 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» специализаций «Электроснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта», «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте» и специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути»;

– шифр ПЗ обозначает шифр документа, т. е. пояснительной записки.

После разработки программы поиска места отказа вся расчетно-графическая работа (контрольная работа) скрепляется степлером в следующем порядке:

- титульный лист (указан в приложении 2);
- лист с оформленным заданием на выполнение расчетно-графической работы (контрольной работы) согласно приложению 1;
- листы с разработкой программы (пример оформления первого листа разработанной программы приведен в приложении 3).

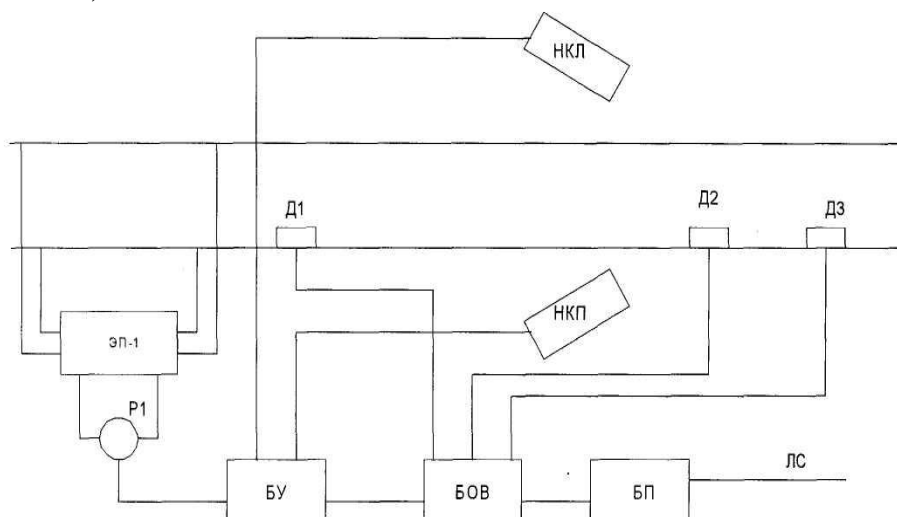
Таблица 8

1-я схема системы															
Номер вари- анта	<i>Контролируемые параметры (признаки состояний)</i>														
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}
1	~	●	*	~	*	~	+	~	~	~	~	~	~	~	~
2	~	~	●	~	~	*	*	+	~	~	~	~	~	~	~
3	●	~	~	~	~	*	*	+	~	~	~	~	~	~	~
4	~	*	+	~	~	~	*	~	~	~	~	●	~	~	~
5	~	*	~	+	*	~	~	~	~	●	~	~	~	~	~
6	●	~	*	~	*	~	~	+	~	~	~	~	~	~	~
7	~	~	~	*	~	~	*	~	+	~	~	~	~	●	~
8	+	~	~	●	~	~	~	~	~	*	~	~	*	~	~
9	~	●	~	~	~	~	~	*	~	~	+	~	~	~	*
10	~	~	●	~	+	~	~	~	*	~	~	~	~	*	~
11	*	~	~	~	~	●	~	~	~	+	~	*	~	~	~
12	~	*	~	~	~	+	~	~	●	~	~	~	~	*	~
13	~	+	~	~	~	~	~	*	~	~	*	~	~	~	●
14	~	~	~	*	~	~	●	~	*	~	~	+	~	~	*
15	~	~	~	~	●	~	~	~	~	*	~	~	*	+	~
16	*	~	●	~	~	~	*	~	~	~	~	~	*	~	+

2-я схема системы												
Номер варианта	Контролируемые параметры (признаки состояний)											
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
17	~	●	*	~	*	~	+	~	~	~	~	~
18	+	●	~	~	*	~	*	~	~	~	~	~
19	*	+	~	*	~	~	~	~	~	~	●	~
20	~	~	*	~	*	+	~	●	~	~	~	~
21	~	~	●	~	*	~	~	*	~	~	+	~
22	~	●	*	~	~	~	+	~	~	*	~	~
23	~	*	~	~	~	*	~	+	~	~	~	●
24	●	~	+	~	~	~	~	~	*	~	~	*
25	~	+	~	●	~	~	*	~	~	~	*	~
26	+	~	~	*	~	~	~	*	~	●	~	~
27	~	~	*	+	~	*	~	●	~	~	~	~
28	*	~	~	~	~	●	~	~	~	~	*	+
29	~	*	●	~	~	~	~	~	~	+	~	*
30	~	~	~	*	+	~	●	*	~	~	~	~
31	~	~	~	~	~	*	~	~	●	*	+	~
32	~	*	~	~	*	~	~	~	+	~	●	~

Примечания:**1. Варианты схем системы:**

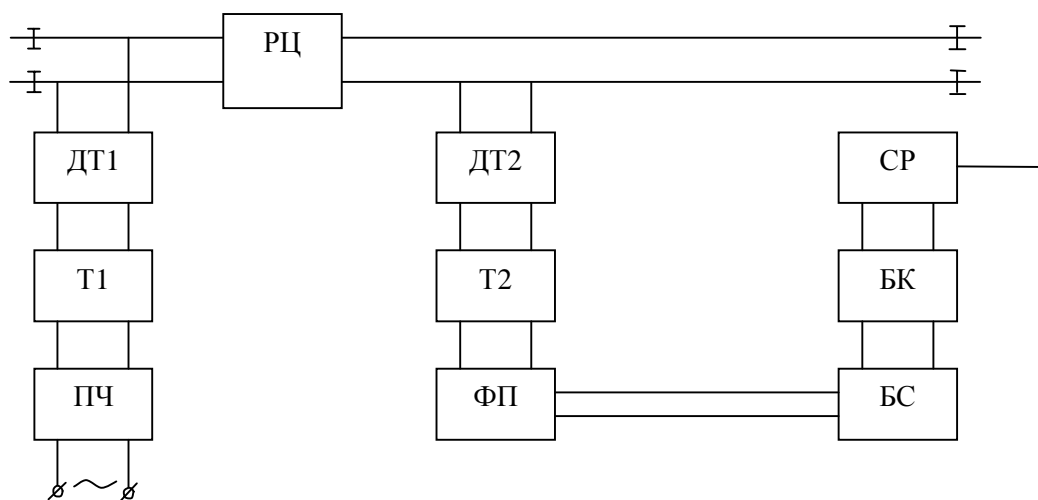
– **1-я схема системы** соответствует упрощенной схеме поста наблюдения (ПОНАБ).



Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевое реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

В качестве признаков технических состояний элементов ОД использовать отклонение от установленной нормы следующих их значений параметров: x_1 – повышение уровня шума; x_2 – повышение давления; x_3 – повышение температуры; x_4 – величина напряжения; x_5 – величина силы тока; x_6 – величина сопротивления обмоток; x_7 – величина сопротивления контакта; x_8 – величина сопротивления изоляции; x_9 – величина перемещения педали; x_{10} – понижение частоты; x_{11} – повышение мощности; x_{12} – величина искрения контакта; x_{13} – величина поворота рычага; x_{14} – угол установки кронштейна; x_{15} – понижение мощности лампочки.

– **2-я схема системы** соответствует упрощенной схеме сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки.



Состав системы: 1) ПЧ – преобразователь частоты; 2) Т1 – входной трансформатор; 3) ДТ1 – входной дроссель-трансформатор; 4) РЦ – рельсовая цепь; 5) ДТ2 – выходной дроссель-трансформатор; 6) Т2 – выходной трансформатор; 7) ФП – фильтр выходной платы; 8) БС – блок сигналов; 9) БК – блок кодов; 10) СР – сигнальное реле.

В качестве признаков технических состояний элементов использовать отклонение от установленной нормы следующих их значений параметров: x_1 – повышение уровня шума; x_2 – повышение давления; x_3 – повышение температуры; x_4 – величина напряжения; x_5 – величина силы тока; x_6 – величина сопротивления обмоток; x_7 – величина сопротивления контакта; x_8 – величина сопротивления изоляции; x_9 – величина перемещения педали; x_{10} – понижение частоты; x_{11} – повышение мощности; x_{12} – искрение контакта.

2. Символ «+» в табл. 8 характеризует присутствие признака x_i во всех состояниях ОД.

3. Символ «•» в табл. 8 характеризует отсутствие признака x_i во всех состояниях ОД.

4. Символ «*» в табл. 8 характеризует взаимное дублирование контролируемых признаков состояний x_i .

5. Символ «~» в табл. 8 характеризует произвольный выбор остальных взаимосвязей технических состояний элементов и контролируемых признаков состояний исходя из присутствия реальных признаков состояний на элементах ОД.

3. ЖЕСТКО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА

К жестко-последовательным программам поиска места отказа в ОД относят:

- программу «по функциональной схеме»;
- программу «вероятность – время».

Для разработки программ поиска места отказа в ОД будем использовать упрощенную схему системы рельсовой цепи (рис. 11).

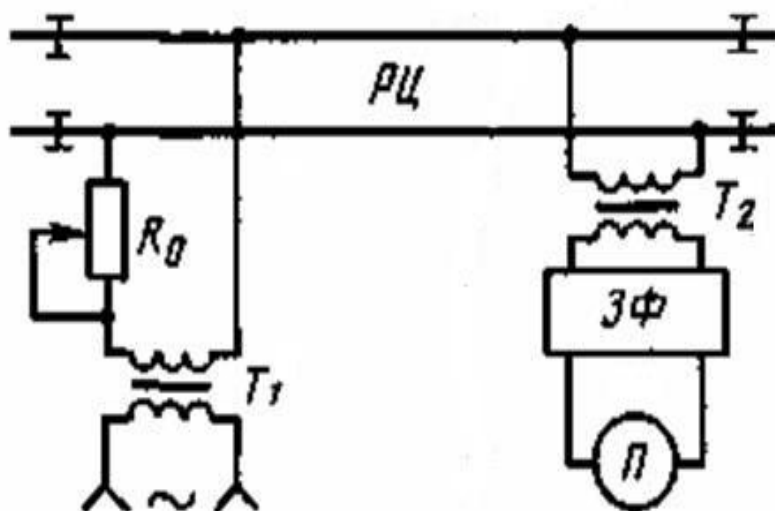


Рис. 11. Упрощенная схема системы рельсовой цепи:
 T_1 и T_2 – трансформатор; R_0 – ограничивающий резистор;
РЦ – рельсовый четырехполюсник; 3Ф – защитный фильтр; П – путевое реле

3.1. Программа поиска места отказа «по функциональной схеме»

Программа «по функциональной схеме» основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «жестком» порядке (строго по функциональной схеме отказавшей системы, например в порядке передачи от элемента к элементу напряжения T_1 к ограничивающему резистору R_0 и т. д.) последовательных ЭП.

Результаты каждой ЭП сразу же анализируются. ЭП подлежит диагностический параметр (параметры) каждого отдельного элемента системы. Поиск места отказа в ОД прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент системы. Очевидно, что в самом неблагоприятном случае количество ЭП будет мак-

симальным и равно числу элементов в системе, если отказал последний из проверяемых ее элементов.

Рассмотрим систему, показанную на рис. 12.



Рис. 12. Структурная схема системы

Как принято в технической диагностике, каждому элементу системы в случае ее неисправности после принятых в технической диагностике двух допущений (см. пп. 2.1) назначаются следующие состояния:

- S_1 – отказ блока 1;
- S_2 – отказ блока 2;
- S_3 – отказ блока 3;
- S_4 – отказ блока 4;
- S_5 – отказ блока 5;
- S_6 – отказ блока 6.

Контролируемые параметры (признаки состояний) x_i элементов системы определяются из ее эксплуатационной документации с выбором потребной технологии замеров и контрольно-проверочной аппаратуры, например, для нашей системы имеем: x_1 для определения S_1 , x_2 – S_2 и т. д.

Программа разрабатывается путем построения диагностического графа последовательности выполнения ЭП.

На диагностическом графе ЭП изображаем окружностью с вписанным контролируемым параметром. При выполнении каждой ЭП возможны два исхода, изображаемые стрелками:

– контролируемый параметр соответствует техническим условиям, тогда над стрелкой указываем символ «+», т. е. для отыскания отказавшего элемента необходимо выполнить очередную ЭП;

– контролируемый параметр не соответствует техническим условиям, тогда над стрелкой указываем символ «-», т. е. обнаружен отказавший элемент и необходимости в последующих ЭП нет.

Если выявлен отказавший элемент (выявлено состояние S_i), то этот факт изображается прямоугольником с вписанным состоянием. Изображение ЭП с их исходами завершается, как только выявленными окажутся все возможные состояния отказавшей системы. ЭП на диагностическом графе изображаются слева направо в порядке нумерации контролируемых параметров (допускается изображение ЭП сверху вниз).

Условия для реализации программы поиска места отказа в ОД:

1. Неизвестны вероятности отказа q_i каждого i -го элемента системы.

2. Первая элементарная проверка ЭП1 назначается для замера параметра на первом блоке. Если значение параметра x_1 равно допустимому значению $x_1 \text{ доп}$, то следует выполнить очередную ЭП, т. е. ЭП2 (в дальнейшем для сокращения записи программы данное выражение будем обозначать: если $x_1 = x_1 \text{ доп} \rightarrow \text{ЭП2}$). Над стрелкой указывается символ «+».

Назначаем ЭП2 на втором блоке. Если $x_2 = x_2 \text{ доп} \rightarrow \text{ЭП3}$ и т. д. Над стрелкой указывается опять символ «+».

Если при очередной ЭП значение параметра x_i на каком-то из i -х блоков не равно допустимому значению $x_i \text{ доп}$, т. е. $x_i \neq x_i \text{ доп} \rightarrow$ отказ этого i -го блока. Над стрелкой указывается символ «-».

Диагностический граф представлен на рис. 13.

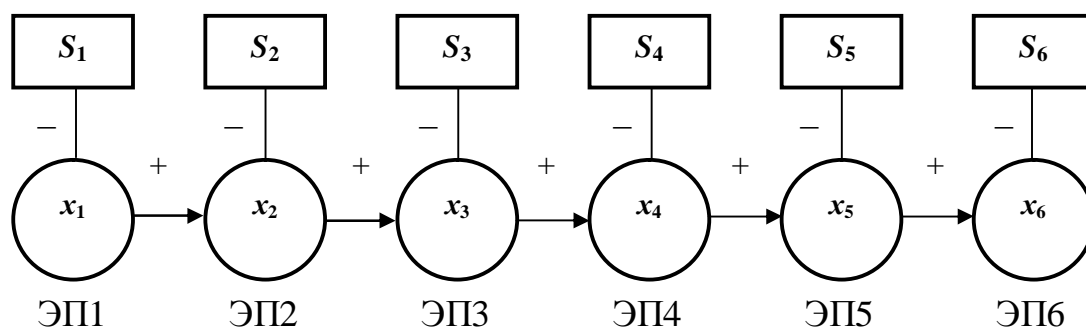


Рис. 13. Диагностический граф программы «по функциональной схеме»

Достоинствами программы являются:

- возможность использования для новой техники, когда не накоплен опыт ее эксплуатации и, тем более, когда не накоплены статистические данные по поиску мест ее отказов;

- простота, доступность для широкого круга специалистов железнодорожного транспорта.

К недостаткам программы следует отнести:

- необходимость выполнения большого количества ЭП, что требует больших затрат времени и материальных ресурсов;

- необходимость использования при поиске мест отказов помимо специалистов и контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) еще и эксплуатационной документации (технического описания, инструкции по технической эксплуатации, альбома формулярных схем и т. д.).

Несмотря на отмеченные недостатки, программа «по функциональной схеме» нашла у всех специалистов, пожалуй, самое широкое распространение, прежде всего из-за своей простоты, доступности широкому кругу специалистов независимо от их опыта эксплуатации, в определенной степени от их квалификации.

3.2. Пример разработки программы поиска места отказа «по функциональной схеме»

Программа «по функциональной схеме» основана на поиске места отказа в объекте диагноза (ОД) путем выполнения в «жестком» порядке (строго по функциональной схеме отказавшей системы) последовательных элементарных проверок (ЭП).

Результаты каждой ЭП сразу же анализируются. ЭП подлежит диагностический параметр (параметры) каждого отдельного элемента системы. Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент системы.

Условия для реализации программы поиска места отказа в ОД:

1. Неизвестны вероятности отказа q_i каждого i -го элемента системы, т. е. считаем, что $q_1 = q_2 = \dots = q_i = \dots = q_{N_i}$.

2. ЭП1 назначается для замера контролируемого параметра на блоке 1 системы. Если значение его параметра x_1 равно допустимому значению $x_{1\text{ доп}}$, то следует выполнить очередную ЭП2 на блоке 2, и т. д.

Программу разрабатываем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему упрощенной системы рельсовой цепи путем последовательного расположения элементов (рис. 14) и определяем, что система состоит из $N = 11$ комплектующих устройств.

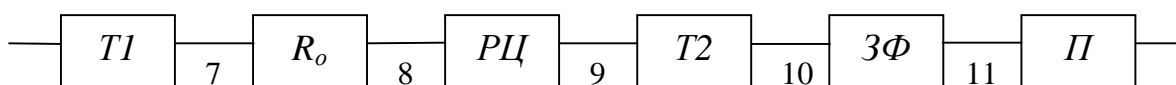


Рис. 14. Структурная схема упрощенной системы рельсовой цепи

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний системы.

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{11} = 2048$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{11} - 1 = 2047$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S системы принимаем принятые в технической диагностике следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 11$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 7, 8, 9, 10, 11), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний S системы равно всего лишь 6.

Таковыми состояниями являются:

- S_1 – отказ T_1 ;
- S_2 – отказ R_o ;
- S_3 – отказ $PЦ$;
- S_4 – отказ T_2 ;
- S_5 – отказ $ЗФ$;
- S_6 – отказ $П$.

1.3. Из эксплуатационной документации для каждого контролируемого параметра устанавливаем технологию замера параметров и требуемую контрольно-проверочную аппаратуру (КПА).

В качестве параметров перечисленных состояний будем использовать отклонение от установленной нормы их значений. Эти параметры, характеризующие состояние каждого блока системы, указаны в задании:

- x_{T1} – величина напряжения T_1 , $x_{T1 \text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
- x_{R_o} – величина сопротивления резистора R_o , $x_{R_o \text{ доп}} = 15 \text{ Ом}$;
- $x_{PЦ}$ – величина напряжения $PЦ$, $x_{PЦ \text{ доп}} = 30 \text{ В}$;
- x_{T2} – величина напряжения T_2 , $x_{T2 \text{ доп}} = 35 \text{ В}$;
- $x_{ЗФ}$ – величина частоты $ЗФ$, $x_{ЗФ \text{ доп}} = 100 \text{ Гц}$;
- $x_{П}$ – величина напряжения $П$, $x_{П \text{ доп}} = 27 \text{ В}$.

Для замера параметров x_{T1} , x_{T2} и $x_{П}$ выбираем указатель напряжения двухполюсный универсальный «Комби» (п. 7.8 [1]), для $x_{PЦ}$ – высокоомный вольтметр (пп. 7.10.3 [1]), для x_{R_o} – измеритель сопротивления М-16 (пп. 7.10.3 [1]) и для $x_{ЗФ}$ – схему, приведенную на рис. 127 пп. 7.15.4 [1].

1.4. Разрабатываем программу поиска места отказа в ОД, при этом каждая ЭП сводится к замеру соответствующего контролируемого параметра x_i и сравнению его замеренного значения с допустимыми значениями (техническими условиями) $x_{i \text{ доп}}$, результат ЭП сразу же анализируется:

- назначаем ЭП1 для проверки параметра x_{T1} на T_1 ;
- если $x_{T1} = x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, т. к. отказ не найден, а если $x_{T1} \neq x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ T_1 , т. е. S_1 ;
- назначаем ЭП2 для проверки параметра x_{R_o} на R_o ;
- если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, т. к. отказ не найден, а если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ отказ R_o , т. е. S_2 ;
- назначаем ЭП3 для проверки параметра $x_{PЦ}$ на $PЦ$;
- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП4, т. к. отказ не найден, а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 ;
- назначаем ЭП4 для проверки параметра x_{T2} на T_2 ;
- если $x_{T2} = x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП5, т. к. отказ не найден, а если $x_{T2} \neq x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ T_2 , т. е. S_4 ;
- назначаем ЭП5 для проверки параметра $x_{ЗФ}$ на $ЗФ$;
- если $x_{ЗФ} = x_{ЗФ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП6, т. к. отказ не найден, а если $x_{ЗФ} \neq x_{ЗФ \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $ЗФ$, т. е. S_5 ;
- назначаем ЭП6 для проверки параметра $x_{П}$ на $П$;

– если $x_{II} \neq x_{II \text{ доп}} \rightarrow$ отказ II , т. е. S_6 .

1.5. Составляем диагностический граф, представленный на рис. 15.

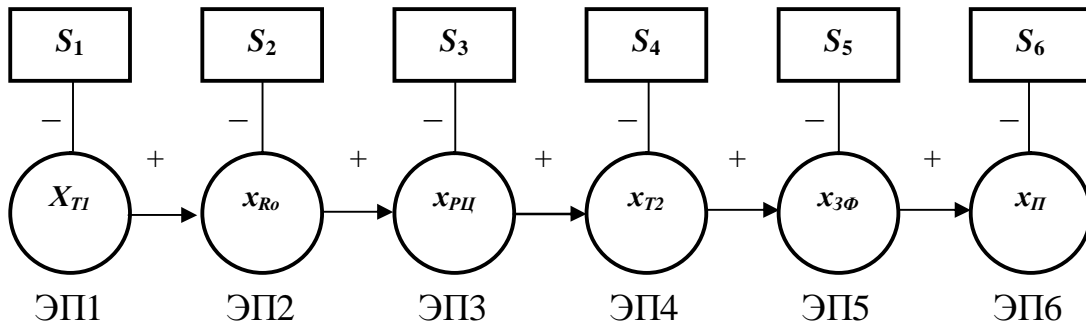


Рис. 15. Диагностический граф программы «по функциональной схеме»

Выводы:

1. Для поиска места отказа в ОД применяем систему тестового диагностирования.

2. В самом благоприятном случае (при отказе T_1) для определения места отказа требуется одна ЭП. В самом неблагоприятном случае (при отказе последнего или предпоследнего элементов, соответственно, отказы 3Φ или II) требуется 5–6 ЭП.

3. Согласно варианту задания для системы имеем отказ S_4 , т. е. T_2 , так как его замеренное значение $x_{T2} = 41$ В не равно $x_{T2 \text{ доп}} = 35$ В.

1.6. Строим алгоритм программы поиска места отказа в ОД в виде «ветвящегося дерева» (рис. 16), располагая дуги влево при соответствии допустимому значению проверяемого параметра и вправо – при несоответствии.

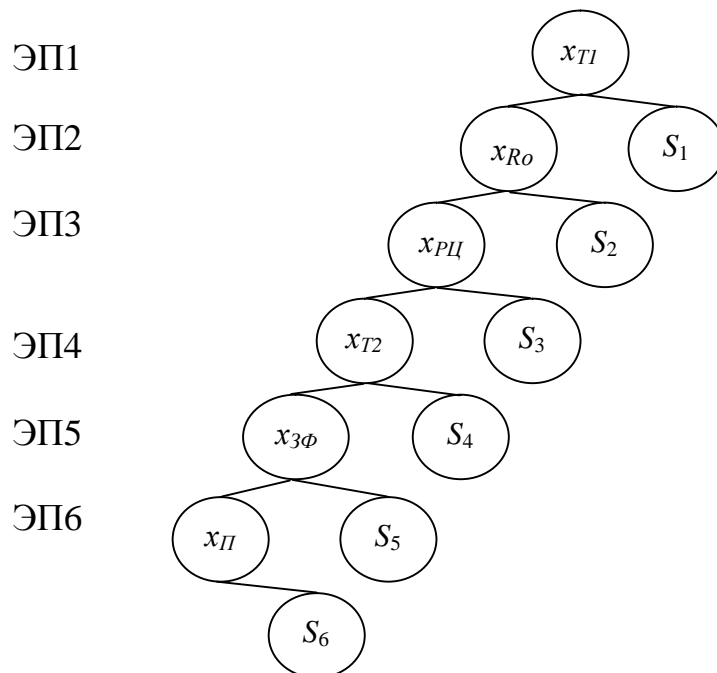


Рис. 16. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

3.3. Программа поиска места отказа «вероятность – время»

Программа «вероятность – время» может быть использована лишь тогда, когда по отказам данного типа оборудования уже накоплен и систематизирован достаточно большой опыт ее эксплуатации, в частности опыт поиска места отказа в системе. Прежде всего, по каждому элементу системы должны быть известны:

- вероятность отказа q_i i -го элемента системы;
- время τ_i , необходимое для ЭП i -го элемента системы.

Программа «вероятность – время» основана на поиске места отказа путем выполнения в «жестком» порядке последовательных ЭП элементов. Элементарной проверке подлежит диагностический параметр (параметры) каждого отдельного элемента системы. Результаты каждой ЭП сразу же анализируются. Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент системы.

Очевидно, что такая программа позволяет в первую очередь проверять те элементы отказавшей системы, вероятность отказа q_i которых наибольшая, а время τ_i на ЭП наименьшее. В результате этого общее время на выявление места отказа системы оказывается существенно меньше, чем при использовании ранее рассмотренной программы «по функциональной схеме».

Покажем это на примере системы, изображенной на рис. 17 и содержащей N последовательно соединенных элементов. Предположим, что один из элементов отказал, что привело к отказу всей системы.

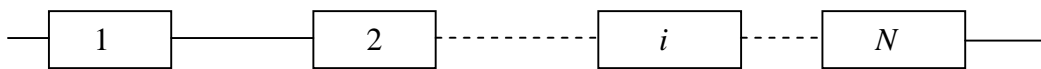


Рис. 17. Структурная схема последовательно соединенных элементов системы

Пусть по каждому i -му элементу системы известны численные значения вероятности q_i его отказа и времени τ_i на его ЭП. Для начала назначим произвольную программу поиска места отказа в системе, т. е. произвольный порядок выполнения ЭП, например, в соответствии с нумерацией элементов системы на рис. 17.

В этом случае математическое ожидание времени поиска места отказа составит

$$M(t_{\Sigma})_I = q_1 \cdot \tau_1 + q_2 \cdot (\tau_1 + \tau_2) + \dots + q_N \cdot (\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_N).$$

Теперь назначим второй вариант программы поиска места отказа, отличающийся от первого варианта тем, что вначале проверяется второй

элемент, затем первый, а последующие ЭП выполняются в такой же последовательности, как и в первом варианте (в порядке нумерации).

Для второго варианта программы математическое ожидание времени поиска места отказа составит

$$M(t_{\Sigma})_{II} = q_2 \cdot \tau_2 + q_1 \cdot (\tau_2 + \tau_1) + \dots + q_N \cdot (\tau_2 + \tau_1 + \dots + \tau_N).$$

Если вычесть из $M(t_{\Sigma})_I$ величину $M(t_{\Sigma})_{II}$, то после выполнения арифметических действий получим

$$M(t_{\Sigma})_I - M(t_{\Sigma})_{II} = q_2 \cdot \tau_1 - q_1 \cdot \tau_2.$$

Из анализа полученной разности следует, что первый вариант программы будет эффективнее исходя из затрат времени на поиск места отказа второго варианта лишь в том случае, когда

$$q_2 \cdot \tau_1 - q_1 \cdot \tau_2 < 0, \text{ т. е. } q_2 \cdot \tau_1 < q_1 \cdot \tau_2,$$

или иначе

$$\frac{q_1}{\tau_1} > \frac{q_2}{\tau_2}.$$

Таким образом, упорядочив ЭП элементов, в соответствии с выражением

$$\frac{q_1}{\tau_1} > \frac{q_2}{\tau_2} > \dots > \frac{q_i}{\tau_i} > \dots > \frac{q_N}{\tau_N}$$

получим оптимальную программу поиска места отказа в ОД, обеспечивающую минимальную величину математического ожидания времени поиска места отказа в ОД. Это правило положено в основу программы «вероятность – время».

После расчета для всех элементов отношений q_i/τ_i устанавливается порядок проверки элементов. Этот порядок соответствует порядку ранжирования отношения q_i/τ_i в порядке убывания. Программа этого типа выглядит как последовательность порядковых номеров элементов системы в порядке их проверки.

Рассмотрим пример практического составления и использования программы «вероятность – время». Пусть требуется составить программу поиска места отказа в системе, состоящей из пяти элементов (рис. 18), т. е. требуется указать оптимальный порядок проведения ЭП элементов.

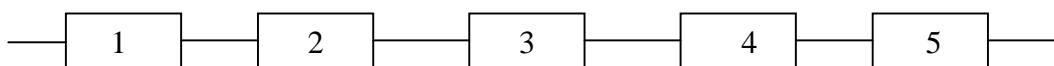


Рис. 18. Структурная схема системы

Из опыта эксплуатации известно, что за 23 случая применения данной системы происходили отказы элементов, указанные в табл. 9.

Таблица 9

Наименование исходного данного или рассчитываемой величины	Порядковый номер элемента системы				
	1	2	3	4	5
Число N применений системы	23	23	23	23	23
Число n_i – отказы i -х элементов системы	2	4	7	1	9
Среднее время τ_i выполнения ЭП i -х элементов системы, мин.	15	5	8	50	6
Вероятность отказа i -го элемента системы $q_i = n_i/N$	0,09	0,17	0,3	0,05	0,39
Величина $q_i\tau_i$	0,006	0,034	0,038	0,001	0,065
Оптимальная очередность выполнения ЭП	ЭП4	ЭП3	ЭП2	ЭП5	ЭП1

Решение задачи начинается с расчета для каждого элемента величины q_i , которая определяется как отношение n_i к N . Затем для каждого элемента рассчитывается величина $q_i\tau_i$ и проводится нумерация элементов системы в порядке убывания значений $q_i\tau_i$. Эта нумерация указана в последней строке табл. 9, и она определяет искомый порядок выполнения ЭП элементов в рассматриваемой системе.

Алгоритм программы представляется в виде «ветвящегося дерева».

Достоинствами программы «вероятность – время» являются:

– высокая вероятность обнаружения места отказа при выполнении первых ЭП, что позволяет существенно уменьшить как время поиска места отказа в системе, так и затраты материальных средств;

– достаточная простота реализации для исполнителей, когда известны необходимые статистические данные.

К недостаткам данной программы следует отнести необходимость владения информацией о статистических данных по отказам и времени их проведения из опыта предыдущей эксплуатации. Данное обстоятельство ограничивает возможность широкого использования данной программы в практике инженерной службы, особенно при эксплуатации новой техники.

3.4. Пример разработки программы поиска места отказа «вероятность – время»

Программа «вероятность – время» основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «жестком» порядке последовательных элементарных проверок (ЭП) элементов. ЭП подлежит диагностический параметр (параметры) каждого отдельного элемента системы. Результаты каждой ЭП сразу же анализируются. Поиск места отказа прекращается, как только

при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент системы.

Условия для реализации программы поиска места отказа в ОД:

1. По каждому элементу системы должны быть известны:

- вероятность отказа q_i i -го элемента системы;
- время τ_i , необходимое для ЭП i -го элемента.

2. Очередность ЭП осуществляется с выполнением условия

$$\frac{q_1}{\tau_1} > \frac{q_2}{\tau_2} > \dots > \frac{q_i}{\tau_i} > \dots > \frac{q_N}{\tau_N}.$$

ЭП1 ЭП2 ...ЭПи ...ЭПN

Программу разрабатываем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему упрощенной системы рельсовой цепи путем последовательного расположения элементов (рис. 19) и определяем, что система состоит из $N = 11$ комплектующих устройств.

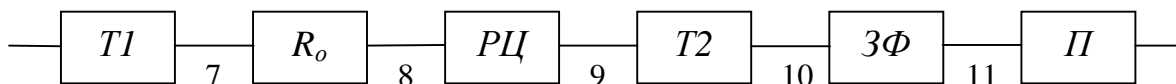


Рис. 19. Структурная схема упрощенной системы рельсовой цепи

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний системы.

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{11} = 2048$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{11} - 1 = 2047$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S системы принимаем принятые в технической диагностике следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 11$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 7, 8, 9, 10, 11), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний системы S равно всего лишь 6.

Таковыми состояниями являются:

- S_1 – отказ T_1 ;
- S_2 – отказ R_o ;
- S_3 – отказ PC ;
- S_4 – отказ T_2 ;
- S_5 – отказ 3Φ ;
- S_6 – отказ $П$.

1.3. Из эксплуатационной документации для каждого контролируемого параметра устанавливаем технологию замера параметров и требуемую контрольно-проверочную аппаратуру (КПА).

В качестве параметров перечисленных состояний будем использовать отклонение от установленной нормы значений тех или иных параметров. Эти параметры, характеризующие состояние каждого блока системы, указаны в задании:

- x_{T1} – величина напряжения T_1 , $x_{T1 \text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
- x_{R_o} – величина сопротивления резистора R_o , $x_{R_o \text{ доп}} = 15 \text{ Ом}$;
- $x_{PЦ}$ – величина напряжения $PЦ$, $x_{PЦ \text{ доп}} = 30 \text{ В}$;
- x_{T2} – величина напряжения T_2 , $x_{T2 \text{ доп}} = 35 \text{ В}$;
- $x_{3\Phi}$ – величина частоты 3Φ , $x_{3\Phi \text{ доп}} = 100 \text{ Гц}$;
- $x_{П}$ – величина напряжения $П$, $x_{П \text{ доп}} = 27 \text{ В}$.

Для замера параметров x_{T1} , x_{T2} и $x_{П}$ выбираем указатель напряжения двухполюсный универсальный «Комби» (п. 7.8 [1]), для $x_{PЦ}$ – высокоомный вольтметр (пп. 7.10.3 [1]), для x_{R_o} – измеритель сопротивления М-16 (пп. 7.10.3 [1]) и для $x_{3\Phi}$ – схему, приведенную на рис. 127 пп. 7.15.4 [1].

1.4. Составляем диагностическую таблицу (табл. 10) с внесением исходных данных вероятностей отказа q_i каждого элемента и времени τ_i , необходимого для ЭП каждого элемента. Затем для каждого элемента рассчитываем величину отношения q_i/τ_i . Исходя из полученных численных значений q_i/τ_i , ранжируем (нумеруем) элементы в порядке убывания величин. Новые порядковые номера обеспечивают в программе первоочередную ЭП наименее надежных элементов, причем таких, проверка работоспособности которых занимает минимальное время.

Таблица 10

Наименование величины	Элементы системы					
	T_1	R_o	$PЦ$	T_2	3Φ	$П$
Вероятность отказа q_i	0,43	0,11	0,28	0,31	0,12	0,25
Среднее время τ_i выполнения ЭП i -х элементов системы, мин.	20	6	8	60	9	17
Величина q_i/τ_i	0,001	0,018	0,035	0,005	0,013	0,015
Оптимальная очередность выполнения ЭП	ЭП6	ЭП2	ЭП1	ЭП5	ЭП4	ЭП3

1.5. Разрабатываем программу поиска места отказа, при этом каждая ЭП сводится к замеру соответствующего контролируемого параметра x_i и сравнению его замеренного значения с допустимыми значениями (техническими условиями) $x_i \text{ доп}$, результат ЭП сразу же анализируется:

- назначаем ЭП1 для проверки параметра $x_{PЦ}$ на $PЦ$;
- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, т. к. отказ не найден, а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 ;
- назначаем ЭП2 для проверки параметра x_{R_o} на R_o ;

- если $x_{Ro} = x_{Ro \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, т. к. отказ не найден, а если $x_{Ro} \neq x_{Ro \text{ доп}} \rightarrow$ отказ R_o , т. е. S_2 ;
- назначаем ЭП3 для проверки параметра x_{II} на II ;
- если $x_{II} = x_{II \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП4, т. к. отказ не найден, а если $x_{II} \neq x_{II \text{ доп}} \rightarrow$ отказ II , т. е. S_6 ;
- назначаем ЭП4 для проверки параметра $x_{3\Phi}$ на 3Φ ;
- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП5, т. к. отказ не найден, а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 ;
- назначаем ЭП5 для проверки параметра x_{T2} на T_2 ;
- если $x_{T2} = x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП5, т. к. отказ не найден, а если $x_{T2} \neq x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ T_2 , т. е. S_4 ;
- назначаем ЭП6 для проверки параметра x_{T1} на T_1 ;
- если $x_{T1} \neq x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ T_1 , т. е. S_1 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему тестового диагностирования.

2. В самом благоприятном случае (при отказе РЦ) для определения места отказа требуется одна ЭП. В самом неблагоприятном случае (при отказе последнего или предпоследнего элементов, соответственно отказы T_2 или T_1) требуется 5–6 элементарных проверок.

3. Согласно варианту задания для системы имеем отказ S_6 , т. е. путевого реле II , так как его значение $x_{II} = 42 \text{ В}$ не равно $x_{II \text{ доп}} = 27 \text{ В}$.

Строим алгоритм программы поиска места отказа в ОД в виде «ветвящегося дерева» (рис. 20).

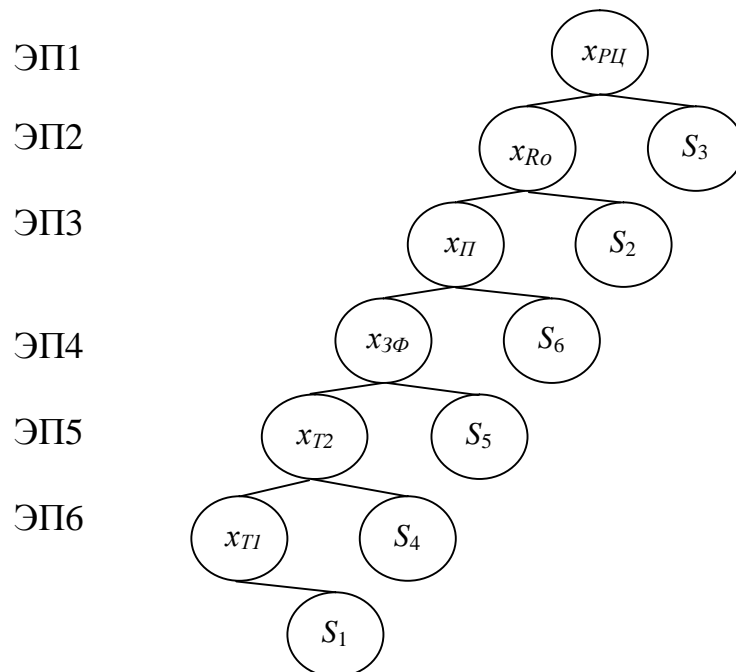


Рис. 20. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

3.5. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 2 (контрольной работы)

Расчетно-графическая работа № 2 (контрольная работа) на тему «Разработка жестко-последовательных программ поиска места отказа в системах обеспечения движения поездов (в строительстве железных дорог, мостов и транспортных тоннелей)» выполняется по вариантам, которые задаются преподавателем каждому студенту.

Студент на отдельном белом листе формата А4 формирует задание на расчетно-графическую работу (контрольную работу) согласно представленному примеру, показанному в приложении 4 настоящего пособия.

Расчетно-графическая работа (контрольная работа) выполняется на белых листах формата А4 в рукописном или печатном виде на ПЭВМ в соответствии с примером по пп. 3.2 и пп. 3.4.

Пример оформления титульного листа представлен в приложении 2 настоящего пособия. На титульном листе после наименования работы:

- первыми буквами указывается вид работ: РГР при выполнении расчетно-графической работы или КР при выполнении контрольной работы;

- шифр 420400 обозначает код подразделения исполнителя, где изучается учебная дисциплина, т. е. кафедру «Теоретическая механика и приборостроение»;

- шифр 190901.65 обозначает шифр специальности 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» специализаций «Электроснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта», «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте» и специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути»;

- шифр ПЗ обозначает шифр документа, т. е. пояснительной записки.

После разработки программы поиска места отказа вся расчетно-графическая работа (контрольная работа) скрепляется степлером в следующем порядке:

- титульный лист (указан в приложении 2);

- лист с оформленным заданием на выполнение расчетно-графической работы (контрольной работы) согласно приложению 4;

- листы с разработкой программы (пример оформления первого листа программы приведен в приложении 5).

Задания для выполнения расчетно-графической работы (контрольной работы) представлены в табл. 11, в которой 1-я схема соответствует разработке программы «по функциональной схеме», а 2-я схема – программе «вероятность – время».

Для составления структурных схем систем использовать нумерацию элементов и их названия, указанные под рисунками каждой системы.

Таблица 11

Номер варианта	Номер схемы	Контролируемые параметры											Обнаружен отказ элемента системы
	1	$X_{ДЧ}$ доль В	$X_{Т1}$ доль, Ом	$X_{ДТ1}$ доль, Ом	$X_{РЦ}$ доль, Ом	$X_{ДТ2}$ доль, В	$X_{Т2}$ доль, В	$X_{ФП}$ доль, Ом	$X_{БС}$ доль, Вт	$X_{БК}$ доль, А	$X_{СР}$ доль, В	-	
	2	$X_{ЭП-1}$ доль, В	$X_{Р1}$ доль, Ом	$X_{Д1}$ доль, Ом	$X_{Д2}$ доль, Ом	$X_{Д3}$ доль, В	$X_{НКП}$ доль, В	$X_{НКЛ}$ доль, Ом	$X_{БУ}$ доль, В	$X_{БОВ}$ доль, Вт	$X_{БП}$ доль, А	$X_{ЛС}$ доль, В	
		q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9	q_{10}	q_{11}	
τ_1		τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	τ_7	τ_8	τ_9	τ_{10}	τ_{11}		
МИН.													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП4
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП2
		0,53	0,09	0,01	0,05	0,06	0,04	0,12	0,03	0,03	0,42	0,25	
		19	17	5	31	25	30	47	20	25	47	36	
2	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП5
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП1
		0,15	0,06	0,07	0,08	0,07	0,15	0,13	0,12	0,43	0,17	0,25	
		15	27	15	35	15	30	30	60	50	49	23	
3	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП8
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП3
		0,18	0,02	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,04	0,41	0,17	0,25	
		5	26	25	17	35	15	10	40	25	10	26	
4	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП6
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП1
		0,05	0,12	0,13	0,13	0,05	0,07	0,07	0,11	0,04	0,17	0,39	
		14	13	35	38	45	20	25	20	50	20	30	

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП9
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП3
		0,01	0,08	0,03	0,03	0,02	0,09	0,09	0,06	0,04	0,01	0,08	
13	37	40	25	85	21	12	20	25	40	35			
6	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП5
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП2
		0,08	0,12	0,15	0,13	0	0,09	0,09	0,07	0,04	0,17	0,31	
35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33			
7	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП7
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП1
		0,08	0,12	0,15	0,13	0,09	0	0,09	0,07	0,04	0,17	0,34	
35	20	45	35	16	65	17	30	55	30	33			
8	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП8
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП3
		0,03	0,51	0,03	0,03	0,05	0,09	0,06	0,10	0,15	0,17	0,03	
95	19	35	55	15	10	40	60	29	20	45			
9	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП5
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП4
		0,08	0,17	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,11	0,04	0,05	0,04	
54	20	15	25	35	10	50	20	35	45	23			
10	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП7
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП3
		0,53	0,09	0,01	0,05	0,06	0,04	0,15	0,03	0,03	0,47	0,25	
19	17	5	31	25	30	47	20	25	47	36			
11	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП8
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП2
		0,15	0,06	0,07	0,08	0,07	0,15	0,13	0,12	0,47	0,17	0,25	
15	27	15	35	15	30	30	60	50	49	23			

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП4
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП1
		0,18	0,02	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,04	0,42	0,17	0,25	
5	26	25	17	35	15	10	40	25	10	25			
13	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП5
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП2
		0,05	0,10	0,13	0,13	0,05	0,07	0,07	0,15	0,04	0,17	0,34	
14	13	35	38	45	20	25	20	50	20	30			
14	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП7
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП3
		0,01	0,08	0,03	0,03	0,25	0,09	0,09	0,06	0,24	0,17	0,08	
13	37	40	25	85	21	12	20	25	40	35			
15	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП6
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП2
		0,08	0,12	0,15	0,13	0	0,09	0,09	0,07	0,04	0,17	0,30	
35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33			
16	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП3
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП1
		0,53	0,09	0,01	0,05	0,06	0,04	0	0,03	0	0,37	0,25	
19	17	5	31	25	30	47	20	25	47	36			
17	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП4
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП2
		0,15	0,06	0,07	0,08	0,07	0,15	0,13	0,12	0,4	0,17	0,25	
15	27	15	35	15	30	30	60	50	49	23			
18	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП6
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП1
		0,18	0,02	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,04	0,4	0,17	0,25	
5	26	25	17	35	15	10	40	25	10	25			

Продолжение таблицы 11

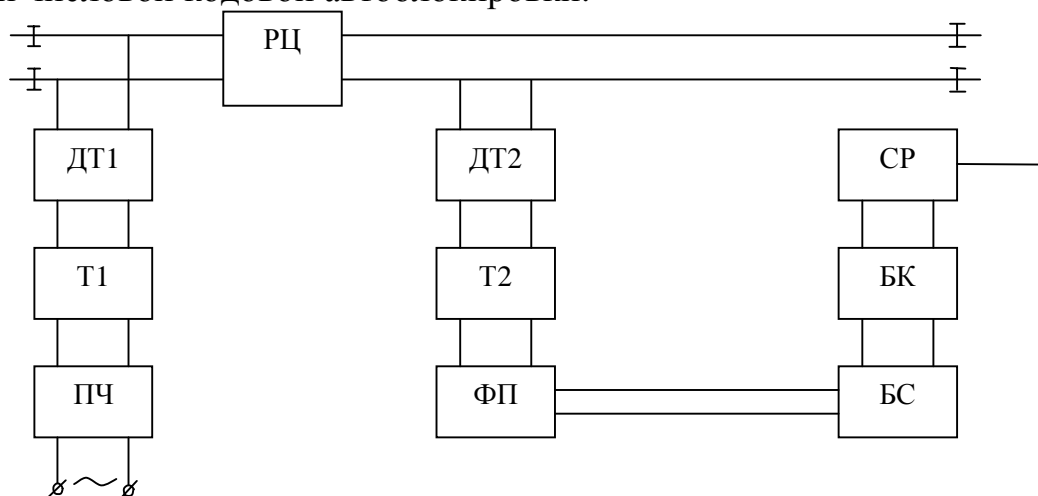
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП7
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП2
		0,05	0,1	0,13	0,13	0,05	0,07	0,07	0,15	0,04	0,17	0,3	
		14	13	35	38	45	20	25	20	50	20	30	
20	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП6
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП3
		0,01	0,08	0,03	0,03	0,25	0,09	0,09	0,06	0,24	0,17	0,08	
		13	37	40	25	85	21	12	20	25	40	35	
21	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП8
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП1
		0,08	0,12	0,15	0,13	0	0,09	0,09	0,07	0,04	0,17	0,3	
		35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33	
22	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП6
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП2
		0,09	0,10	0,18	0,15	0	0,09	0,09	0,07	0,06	0,17	0,3	
		38	25	40	25	65	16	17	30	35	30	33	
23	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП9
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП4
		0,03	0,41	0	0	0,05	0,09	0,06	0,10	0,12	0,01	0,03	
		87	19	35	55	15	10	40	60	39	20		
24	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП3
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП2
		0,08	0,17	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0	0,04	0	0,04	
		54	20	15	25	35	10	50	20	35	45	23	
25	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП5
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП2
		0,18	0,02	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,04	0,42	0,17	0,25	
		5	26	25	17	35	15	10	40	25	10	25	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
26	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП8
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП4
		0,18	0,02	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,04	0,4	0,17	0,25	
5	26	25	17	35	15	10	40	25	10	25			
27	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП7
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП2
		0,08	0,22	0,15	0,16	0	0,09	0,06	0,07	0,08	0,37	0,23	
35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33			
28	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП5
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП3
		0,07	0,19	0,15	0,13	0	0,09	0,13	0,07	0,04	0,17	0,39	
35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33			
29	1	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-	при ЭП3
	2	27	51	26	67	29	14	12	36	23	15	36	при ЭП1
		0,05	0,15	0,13	0,19	0,05	0,07	0,03	0,15	0,09	0,17	0,34	
14	13	35	68	45	20	75	25	50	20	31			
30	1	27	65	25	89	13	5	15	78	7	36	-	при ЭП9
	2	27	12	33	89	90	4	24	16	43	5	36	при ЭП3
		0,08	0,41	0,13	0,03	0,05	0,09	0,06	0,10	0,15	0,17	0,03	
95	19	35	55	15	10	40	60	29	20	45			
31	1	27	32	43	65	78	98	10	11	68	36	-	при ЭП5
	2	27	45	56	76	90	87	27	35	62	43	36	при ЭП2
		0,01	0,08	0,24	0,03	0,32	0,09	0,09	0,06	0,24	0,01	0,07	
13	37	40	25	85	21	12	20	25	40	35			
32	1	27	52	34	51	23	41	39	87	42	36	-	при ЭП7
	2	27	67	45	34	12	28	98	11	26	12	36	при ЭП4
		0,08	0,42	0,15	0,13	0	0,19	0,09	0,27	0,04	0,17	0,23	
35	20	45	35	65	16	17	30	55	30	33			

Примечания:

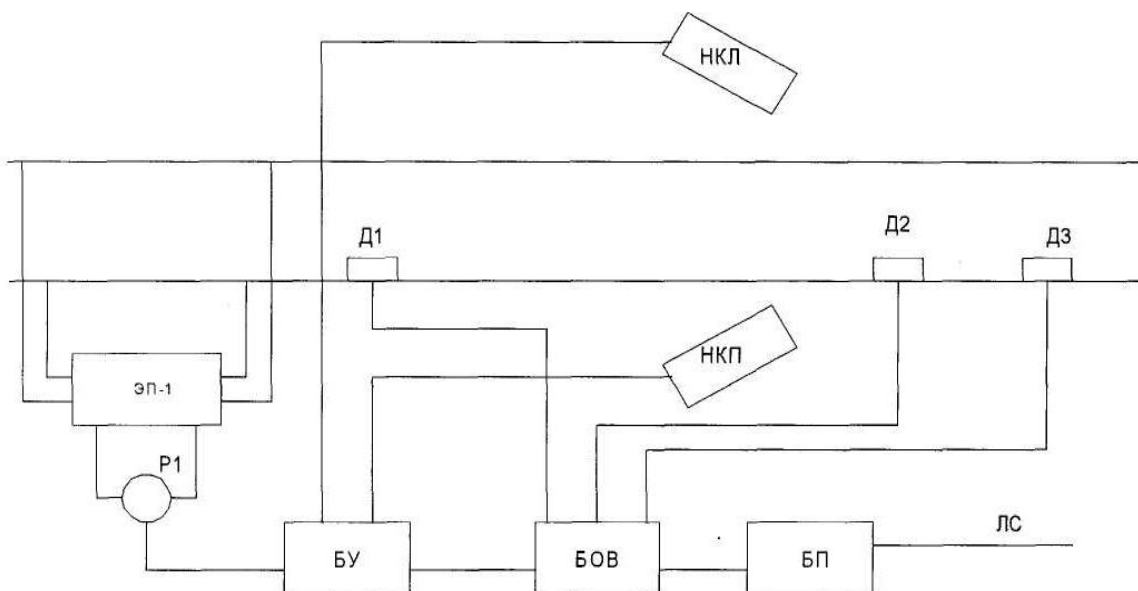
1. Варианты схем системы:

– *1-я схема системы* соответствует упрощенной схеме сигнальной точки числовой автоблокировки.



Состав системы: 1) ПЧ – преобразователь частоты; 2) Т1 – входной трансформатор; 3) ДТ1 – входной дроссель-трансформатор; 4) РЦ – рельсовая цепь; 5) ДТ2 – выходной дроссель-трансформатор; 6) Т2 – выходной трансформатор; 7) ФП – фильтр выходной платы; 8) БС – блок сигналов; 9) БК – блок кодов; 10) СР – сигнальное реле.

– *2-я схема системы* соответствует упрощенной схеме ПОНАБ.



Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевое реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

4. ГИБКО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА

4.1. Программа поиска места отказа «по максимуму информации»

Программа поиска места отказа «по максимуму информации» может быть использована лишь тогда, когда по отказам оборудования железнодорожного транспорта данного типа уже накоплен и систематизирован определенный опыт ее эксплуатации, в частности, когда для каждого элемента системы известна величина вероятности его отказа q_i .

Программа «по максимуму информации» основана на поиске места отказа в системе путем выполнения в «гибком» порядке последовательных ЭП групп смежных элементов. В ряде случаев в смежной группе может быть и один элемент. В первой ЭП проверяется такая группа смежных элементов, сумма вероятностей отказов q_i которых равна примерно 0,5; примерно 0,25 – для второй; примерно 0,125 – для третьей; примерно 0,0625 – для четвертой и т. д.

«Гибкость» программы заключается в том, что решение о месте проведения второй и последующих ЭП не известно заранее, а принимается с использованием правила «*в проверяемой группе должен быть отказавший элемент*».

Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент. Такая программа позволяет выполнять максимально информативные ЭП, в результате существенно уменьшается как число этих ЭП, так и общее время поиска места отказа в системе.

Рассмотрим пример использования и оформления программы. Пусть система состоит из 7 последовательно соединенных элементов. Структурная схема системы представлена на рис. 21.

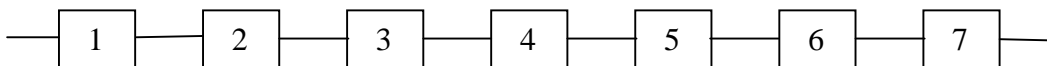


Рис. 21. Структурная схема системы

Требуется сформировать такую программу поиска места отказа, которая обеспечивала бы получение максимума информации при выполнении каждой ЭП. Решение поставленной задачи будем выполнять на основе некоторых положений теории информации.

Информационную неопределенность системы, состоящей из N элементов, один из которых отказал, можно количественно определить величиной энтропии $H(S)$ по известной формуле

$$H(S) = - \sum_{i=1}^N q_i \cdot \log_2 \cdot q_i ,$$

где q_i – вероятность отказа i -го элемента; \log_2 – логарифм с основанием 2.

Если при i -й ЭП проверяется не N , а m элементов, то информационную неопределенность подсистемы из m элементов перед j -й проверкой можно оценить энтропией $H(S)$ по формуле

$$H(S)_j = - \sum_{i=1}^m q_i \cdot \log_2 \cdot q_i ,$$

а после j -й проверки величиной энтропии

$$H(S)'_j = - \sum_{i=1}^m (1 - q_i) \cdot \log_2 (1 - q_i) .$$

Очевидно, что количество информации I_j , которую несет j -я ЭП, можно определить как разность $H(S)_j$ и $H(S)'_j$, т. е.

$$I_j = H(S)_j - H(S)'_j = - \sum_{i=1}^m q_i \cdot \log_2 \cdot q_i - \left[- \sum_{i=1}^m (1 - q_i) \cdot \log_2 \cdot (1 - q_i) \right] .$$

Используя это уравнение, можно определить, в каком же случае, т. е. при какой величине $Q_j = \sum_{i=1}^m q_i$, j -я проверка будет максимально информативной.

Иными словами, можно определить положение экстремума функции $I_j(Q_j)$.

Из норм дифференциального исчисления становится очевидным, что экстремум функции $I_j(Q_j)$ находится в точке, обеспечивающей равенство

$$\frac{dI_j}{dQ_j} = 0 .$$

Выполнив подстановку Q_j в конечное выражение I_j , продифференцировав полученное уравнение по Q_j , а затем, приравняв дифференциальное уравнение нулю и решив его относительно Q_j , получим, что максимум информации при j -й ЭП можно получить только тогда, когда Q_j (по существу это Q_1) будет равно 0,5.

Аналогичным образом в интересах максимизации информативности ЭП можно получить $Q_2 = 0,25$, $Q_3 = 0,125$ и т. д.

Программу представляют в виде схемы (рис. 22) путем выделения внизу схемы фигурных скобок, отображающих сумму вероятностей отказа q_i групп смежных элементов системы, равных вначале 0,5, затем 0,25 и т. д.

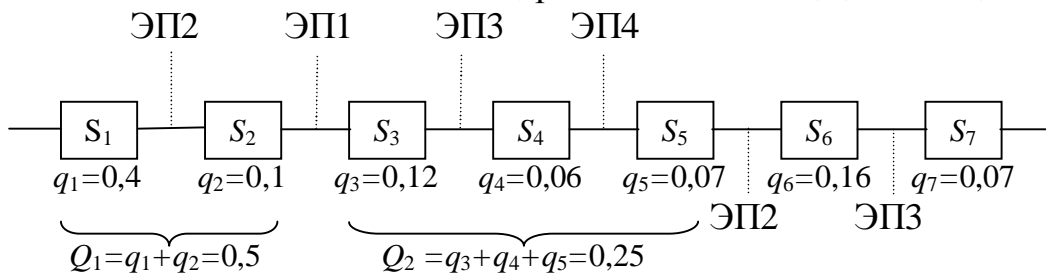


Рис. 22. Схема программы «по максимуму информации»

Если какая-то из сумм q_i не получается, то в дальнейшем программа неприменима. Следует отметить, что подсчет сумм вероятностей отказа q_i групп смежных элементов системы производится слева направо без пропуска элементов. На схеме очередность ЭП указывается в виде штриховых линий с очередностью ЭП. Линия, обозначающая ЭП, изображена над схемой в том случае, если предыдущая ЭП дала положительный результат, т. е. при ней обнаружен отказ. Линия изображена под схемой, если предшествующая ЭП дала отрицательный результат, т. е. отказ не обнаружен.

Из рассмотренного примера следует, что лишь первая и вторая ЭП проведены в строгом соответствии с правилами программы по максимуму информации, когда $Q_1 = 0,5$, а $Q_2 = 0,25$. Остальные проверки выполнены исходя из единственно возможной в данной системе логики. Обычно в группе смежных элементов очередная ЭП назначается на том элементе, у которого наибольшее значение вероятности отказа q_i , затем последующая ЭП у элемента с еще меньшим значением q_i и т. д.

На практике алгоритм программы поиска места отказа в ОД часто изображают в виде «ветвящегося дерева». Применительно к нашему примеру такая графическая форма программы представлена на рис. 23.

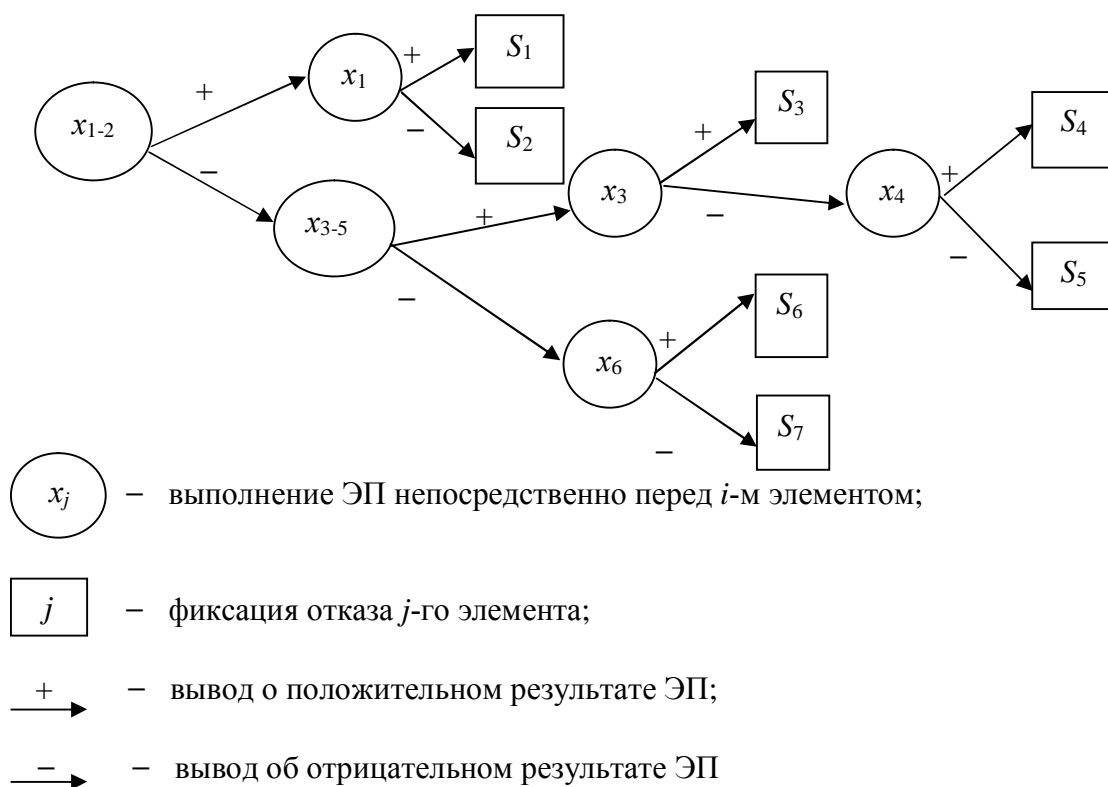


Рис. 23. Алгоритм программы поиска места отказа в виде «ветвящегося дерева»

Существенным достоинством программы «по максимуму информации» является ее оптимальность путем уменьшения времени поиска места отказа и минимальности потребного количества ЭП.

В то же время такая программа требует наличия количественных исходных данных (численных значений вероятности отказа q_i каждого элемента), что не всегда можно обеспечить при реальной эксплуатации техники.

4.2. Пример разработки программы поиска места отказа «по максимуму информации»

Программа «по максимуму информации» основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «гибком» порядке последовательных ЭП групп смежных элементов. В ряде случаев в группе может быть и один элемент. Гибкость программы заключается в том, что решение о месте проведения второй и последующих ЭП не известно заранее, а принимается с использованием правила «в проверяемой группе должен быть отказавший элемент».

Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент. Такая программа позволяет выполнять максимально информативные ЭП, в результате существенно уменьшается как их число, так и общее время поиска места отказа.

Условия для реализации программы поиска места отказа в ОД:

1. Для каждого элемента системы известна величина вероятности его отказа q_i .

2. В первой ЭП проверяется такая группа смежных элементов, сумма вероятностей отказов которых равна $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$; для второй – $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,25$;

для третьей – $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,125$; для четвертой – $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,0625$ и т. д.

Программу разрабатываем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему упрощенной системы рельсовой цепи, которая представлена на рис. 24, и определяем, что система состоит из 11 комплектующих устройств, т. е. $N = 11$.

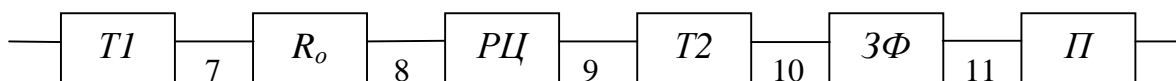


Рис. 24. Структурная схема упрощенной системы рельсовой цепи

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний системы.

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{11} = 2048$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{11} - 1 = 2047$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S системы принимаем принятые в технической диагностике следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 11$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 7, 8, 9, 10, 11), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний системы S равно всего лишь 6.

Таковыми состояниями являются:

- S_1 – отказ T_1 ;
- S_2 – отказ R_o ;
- S_3 – отказ $PЦ$;
- S_4 – отказ T_2 ;
- S_5 – отказ $ЗФ$;
- S_6 – отказ $П$.

1.3. Из эксплуатационной документации для каждого контролируемого параметра устанавливаем технологию замера параметров и требуемую контрольно-проверочную аппаратуру (КПА).

В качестве параметров перечисленных состояний будем использовать отклонение от установленной нормы значений тех или иных параметров. Эти параметры, характеризующие состояние каждого блока системы, указаны в задании:

- x_{T1} – величина напряжения T_1 , $x_{T1 \text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
- x_{R_o} – величина сопротивления резистора R_o , $x_{R_o \text{ доп}} = 15 \text{ Ом}$;
- $x_{PЦ}$ – величина напряжения $PЦ$, $x_{PЦ \text{ доп}} = 30 \text{ В}$;
- x_{T2} – величина напряжения T_2 , $x_{T2 \text{ доп}} = 35 \text{ В}$;
- $x_{ЗФ}$ – величина частоты $ЗФ$, $x_{ЗФ \text{ доп}} = 100 \text{ Гц}$;
- $x_{П}$ – величина напряжения $П$, $x_{П \text{ доп}} = 27 \text{ В}$.

Для замера параметров x_{T1} , x_{T2} и $x_{П}$ выбираем указатель напряжения двухполюсный универсальный «Комби» (п. 7.8 [1]), для $x_{PЦ}$ – высокоомный вольтметр (пп. 7.10.3 [1]), для x_{R_o} – измеритель сопротивления М-16 (пп. 7.10.3 [1]) и для $x_{ЗФ}$ – схему, приведенную на рис. 127 пп. 7.15.4 [1].

1.4. Составляем схему программы путем расположения последовательно элементов с их состояниями, под каждым элементом указываем значения q_i . Далее начинаем суммировать слева направо (без пропусков элементов) вероятности отказов q_i до получения максимальной $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$.

Полученную сумму (в нашем случае эта сумма $q_1+q_2+q_3$ составляет 0,52 для трех смежных элементов) выделяем внизу схемы фигурной скобкой

(рис. 25). Продолжаем считать далее до получения суммы вероятностей отказов $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,25$ (в нашем случае это $q_4 + q_5 = 0,25$) и также выделяем снизу фигурной скобкой, далее – $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,125$ и т. д. В случае если условие не выполняется (элемент Π), подсчет суммы вероятностей отказов прекращаем. Программа в дальнейшем не рассматривается, однако поиск места отказа не прекращается, а происходит произвольно без соблюдения всяких условий, например, с использованием другой программы поиска места отказа в системе.

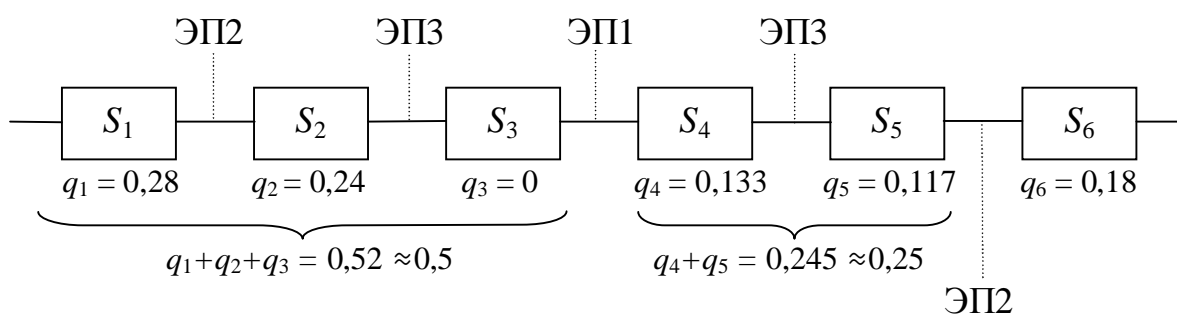


Рис. 25. Схема программы «по максимуму информации»

Примечание: Если вероятность отказа первого элемента в начале системы соответствует примерно 0,5, то его считают как сумму вероятностей отказов $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$ и снизу выделяют фигурной скобкой, и т. д.

1.5. Составляем программу поиска мест отказов.

Назначаем первую ЭП (на схеме рис. 25 – ЭП1) для проверки параметра $x_{PЦ}$ на $PЦ$, т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$. Обозначение выполненной ЭП указываем в виде штриховой линии. Линию, обозначающую ЭП, будем изображать над схемой в том случае, если предыдущая ЭП дала положительный результат, т. е. при ней обнаружен отказ, и под схемой, если предшествующая ЭП дала отрицательный результат, т. е. отказ не обнаружен.

В дальнейшем возможны два варианта разработки программы.

1-й вариант:

– если значение $x_{PЦ}$ на $PЦ$ равно допустимому значению $x_{PЦ \text{ доп}}$, то следует выполнить очередную (вторую) элементарную проверку, т. е. ЭП2 (в дальнейшем для сокращения записи программы будем обозначать: если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow \text{ЭП2}$);

– назначаем ЭП2 для проверки параметра $x_{3\Phi}$ на 3Φ , т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,25$;

- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ Π , т. е. S_6 , а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ ДОП}} \rightarrow$ ЭПЗ, так как отказ не найден;
- назначаем ЭПЗ на T_2 ;
- если $x_{T_2} = x_{T_2 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 , а если $x_{T_2} \neq x_{T_2 \text{ ДОП}} \rightarrow$ это отказ T_2 , т. е. S_4 .

2-й вариант:

- если значение $x_{PЦ}$ на $PЦ$ не равно допустимому значению $x_{PЦ \text{ ДОП}}$, то необходимо выполнить очередную (вторую) элементарную проверку, т. е. ЭП2 (в дальнейшем для сокращения записи программы будем обозначать: если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ ДОП}} \rightarrow$ ЭП2);
- назначаем ЭП2 на T_1 , так как вероятность отказа его отказа больше, чем у R_0 ;
- если $x_{T_1} = x_{T_1 \text{ ДОП}} \rightarrow$ ЭПЗ, а если $x_{T_1} \neq x_{T_1 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ T_1 , т. е. S_1 ;
- назначаем ЭПЗ на R_0 ;
- если $x_{R_0} = x_{R_0 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 , а если $x_{R_0} \neq x_{R_0 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ R_0 , т. е. S_2 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.
2. При ЭП1, если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ ДОП}}$, имеем отказ Π при ЭП2 и отказы 3Φ и T_2 при ЭПЗ.
3. При ЭП1, если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ ДОП}}$, имеем отказ T_1 при ЭП2 и отказы $PЦ$ и R_0 при ЭПЗ.

Строим алгоритм программы поиска места отказа в ОД в виде «ветвящегося дерева» (рис. 26), располагая дуги влево при соответствии допустимому значению проверяемого параметра и вправо – при несоответствии.

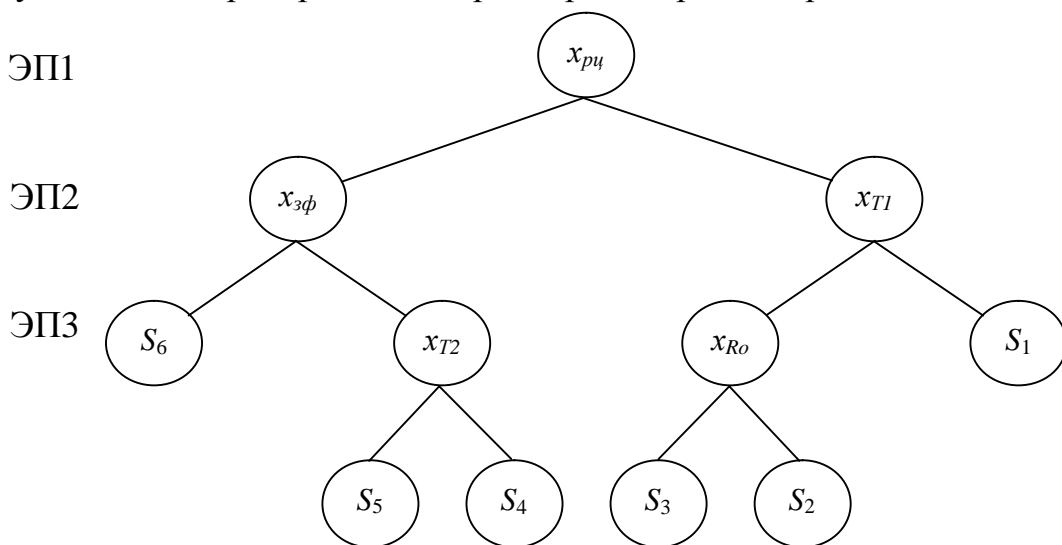


Рис. 26. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

При разработке программ поиска места отказа в ОД возможны различные случаи и варианты распределения вероятностей отказа q_i их элементов.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся и возможные случаи расположения q_i с примерами разработки программ:

1-й случай. Рассмотрим случай очередности назначения ЭП внутри группы смежных элементов с большим количеством элементов.

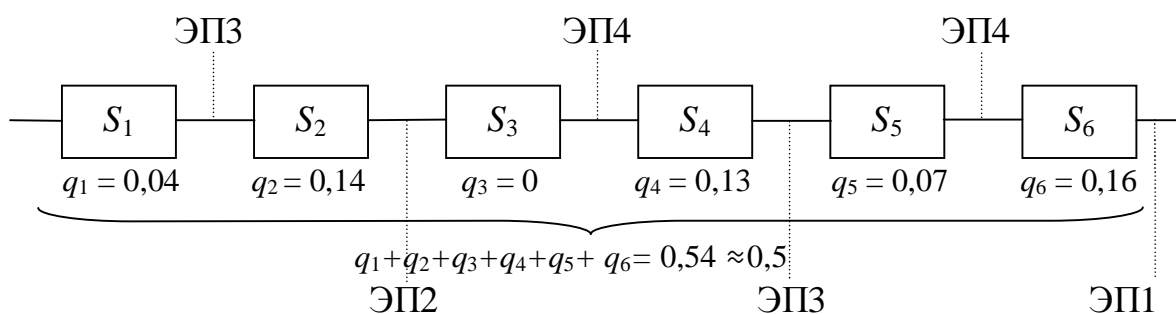


Рис. 27. Схема программы «по максимуму информации»

Составляем программу поиска мест отказов в системе.

Назначаем ЭП1 (рис. 27) для проверки параметра x_{II} на II , т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$.

В дальнейшем возможен следующий вариант разработки программы, учитывая, что назначение ЭП в группе смежных элементов осуществляется начиная с элемента, у которого наибольшая вероятность отказа q_i , и далее ЭП назначаются по мере уменьшения их значений:

- если $x_{II} = x_{II \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2;
- назначаем ЭП2 на R_o ;
- если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, а если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, так как отказ не найден;
- назначаем ЭП3 на T_1 ;
- если $x_{T_1} = x_{T_1 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ R_o , т. е. S_2 , а если $x_{T_1} \neq x_{T_1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_1 , т. е. S_1 .
- назначаем ЭП3 на T_2 , так как вероятность отказа его отказа больше, чем у 3Φ ;
- если $x_{T_2} = x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП4, а если $x_{T_2} \neq x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП4;
- назначаем ЭП4 на $PЦ$;
- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_2 , т. е. S_2 , а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ $PЦ$;
- назначаем ЭП4 на 3Φ ;
- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ II , т. е. S_6 , а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.

2. При ЭП1, если $x_{II} = x_{II \text{ доп}}$, имеем отказы T_1 и R_o при ЭП3, отказы PC , T_2 , 3Φ и II при ЭП4.

Строим алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева» (рис. 28).

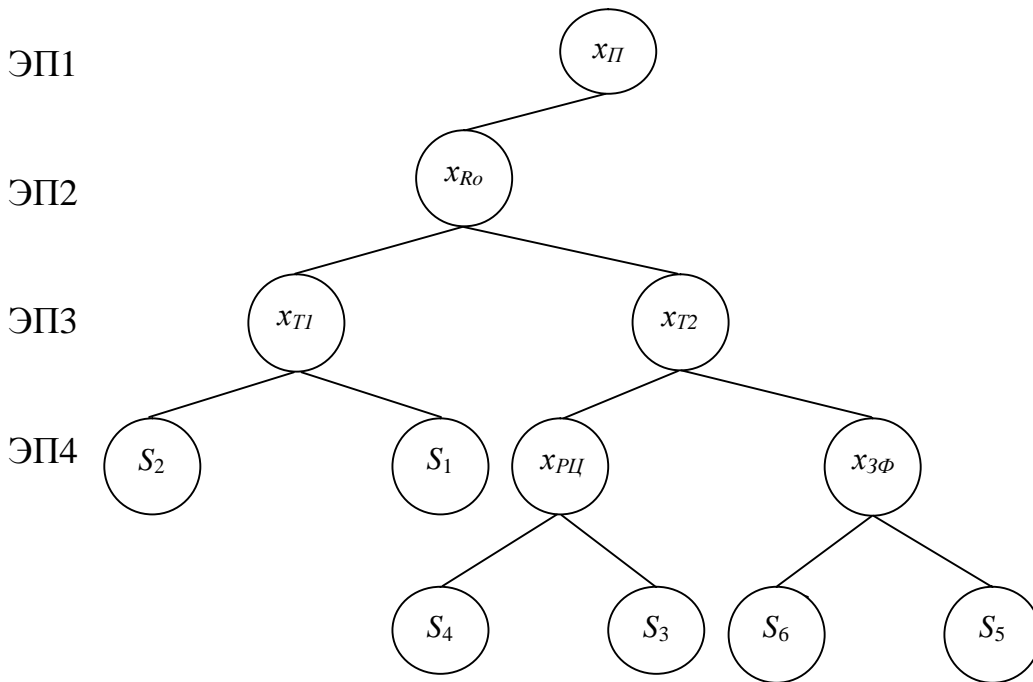


Рис. 28. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

2-й случай. Рассмотрим случай, когда в качестве групп смежных элементов могут выступать и одни элементы (рис. 29).

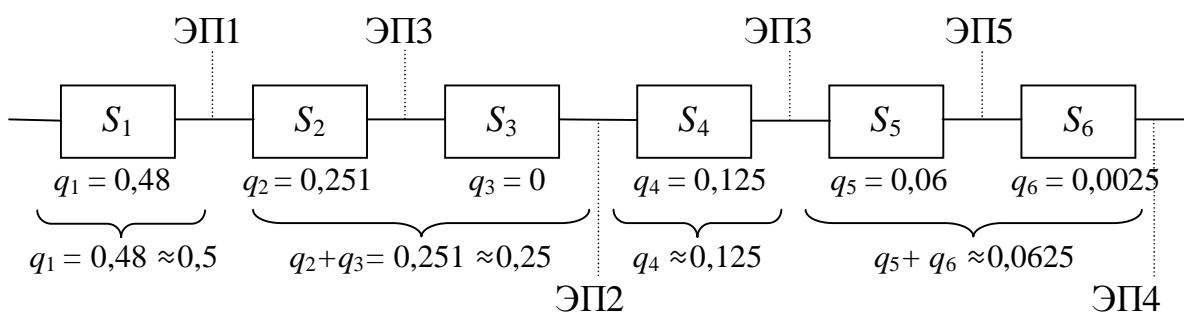


Рис. 29. Схема программы «по максимуму информации»

Составляем программу поиска мест отказов в системе:

– назначаем ЭП1 на T_1 , т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$;

- если $x_{T1} = x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, а если $x_{T1} \neq x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_1 , т. е. S_1 .
- назначаем ЭП2 на $PЦ$;
- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, так как отказ не найден;
- назначаем ЭП3 на T_2 ;
- если $x_{T2} = x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП4, а если $x_{T2} \neq x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_2 , т. е. S_4 ;
- назначаем ЭП3 на R_o ;
- если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 , а если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ отказ R_o , т. е. S_2 ;
- назначаем ЭП4 на $П$;
- если $x_{П} \neq x_{П \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП5;
- назначаем ЭП5 на 3Φ ;
- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ $П$, т. е. S_6 , а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.

2. Имеем отказ T_1 при ЭП1, отказы R_o , $PЦ$, T_2 при ЭП3, отказы 3Φ и $П$ при ЭП5.

Строим алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева» (рис. 30).

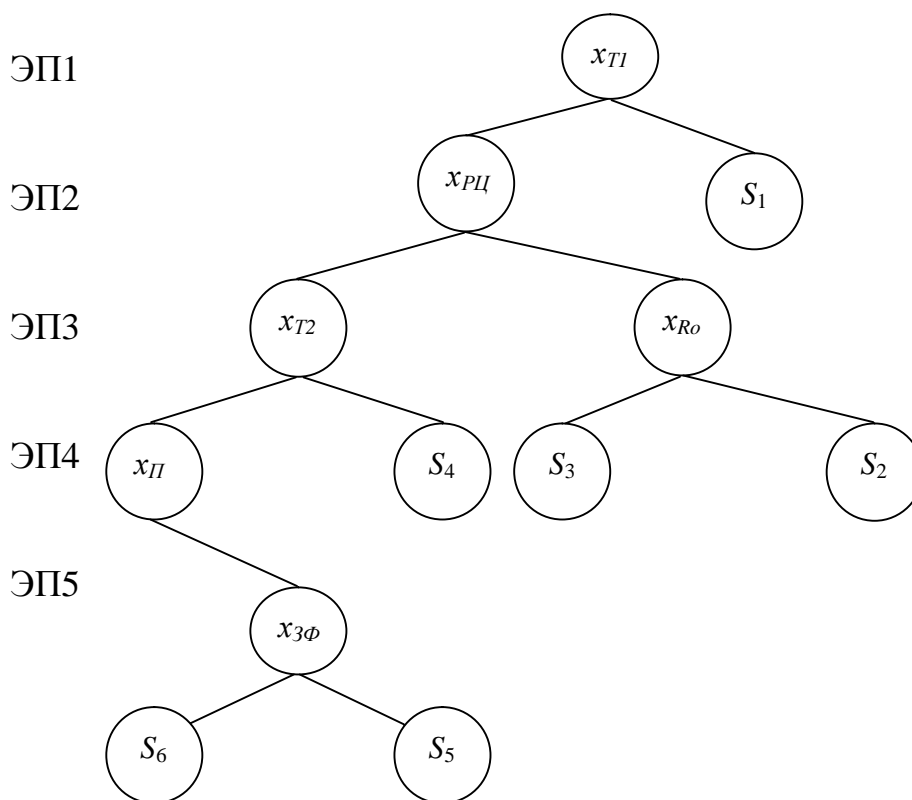


Рис. 30. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

3-й случай. Рассмотрим случай, когда в группах элементы имеют значения вероятностей отказа q_i равными нулю и они расположены после элементов с известными вероятностями отказа q_i , а также не выполняется одно из условий программы (рис. 31).

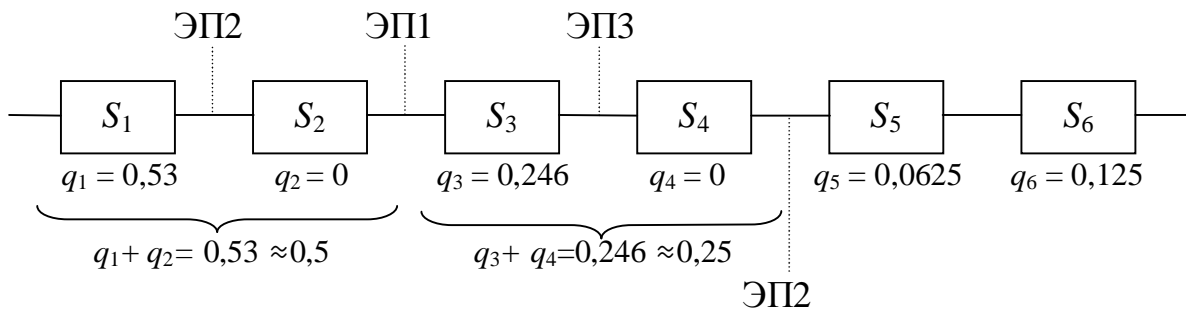


Рис. 31. Схема программы «по максимуму информации»

Составляем программу поиска мест отказов в системе:

– назначаем ЭП1 на R_o , т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$;

– если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, а если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, так как отказ не найден;

– назначаем ЭП2 на T_2 ;

– если $x_{T_2} = x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ программа не применяется, а если $x_{T_2} \neq x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3;

– назначаем ЭП2 на T_1 ;

– если $x_{T_1} = x_{T_1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ R_o , т. е. S_2 , а если $x_{T_1} \neq x_{T_1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_1 , т. е. S_1 ;

– назначаем ЭП3 на $PЦ$;

– если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_2 , т. е. S_4 , а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.

2. При ЭП1, если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ доп}}$, имеем неприменение программы при ЭП2, отказы $PЦ$ и T_2 при ЭП3.

3. При ЭП1, если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ доп}}$, имеем отказы T_1 и R_o при ЭП2.

Строим алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева» (рис. 32).

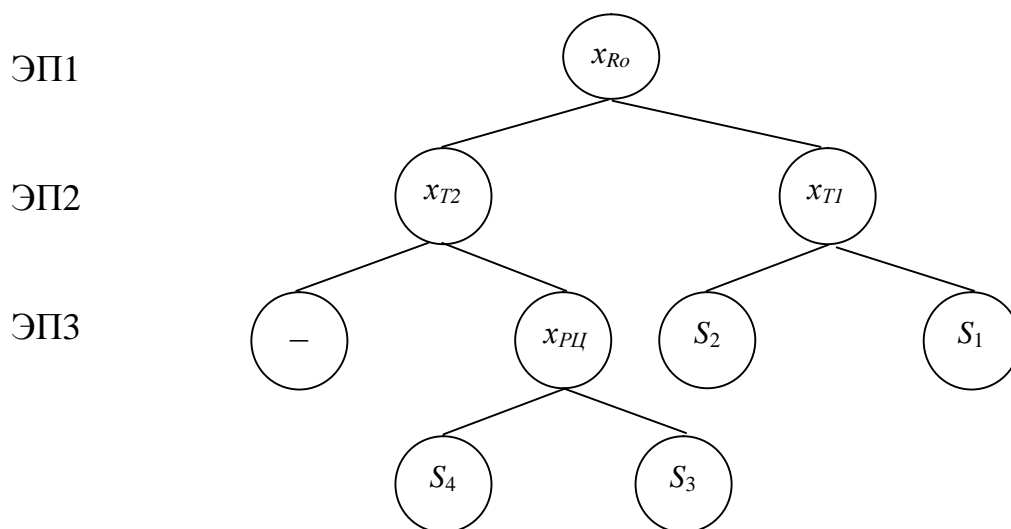


Рис. 32. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

4-й случай. Рассмотрим случай, когда в группах элементы имеют значения вероятностей отказа q_i равными нулю и они расположены до элементов с известными вероятностями отказа q_i (рис. 33).

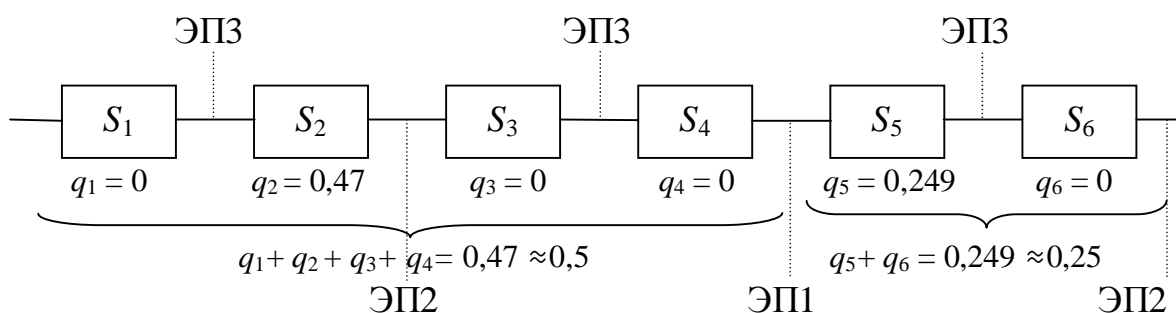


Рис. 33. Схема программы «по максимуму информации»

Составляем программу поиска мест отказов в системе:

- назначаем ЭП1 на T_2 , т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$;
- если $x_{T_2} = x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, а если $x_{T_2} \neq x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2, так как отказ не найден;
- назначаем ЭП2 на Π ;
- если $x_{T_2} \neq x_{T_2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3;
- назначаем ЭП3 на 3Φ ;
- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ Π , т. е. S_6 , а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 ;
- назначаем ЭП2 на R_0 ;

- если $x_{Ro} = x_{Ro \text{ доп}} \rightarrow$ ЭПЗ, а если $x_{Ro} \neq x_{Ro \text{ доп}} \rightarrow$ ЭПЗ, так как отказ не найден;
- назначаем ЭПЗ на T_1 ;
- если $x_{T1} = x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ R_o , т. е. S_2 , а если $x_{T1} \neq x_{T1 \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_1 , т. е. S_1 ;
- назначаем ЭПЗ на $PЦ$;
- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ это отказ T_2 , т. е. S_4 , а если $x_{PЦ} \neq x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $PЦ$, т. е. S_3 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.
2. При ЭП1, если $x_{T2} = x_{T2 \text{ доп}}$, имеем отказы 3Φ и $П$ при ЭПЗ.
3. При ЭП1, если $x_{T2} \neq x_{T2 \text{ доп}}$, имеем отказы T_1 и R_o , $PЦ$ и T_2 при ЭПЗ. Строим алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева» (рис. 34).

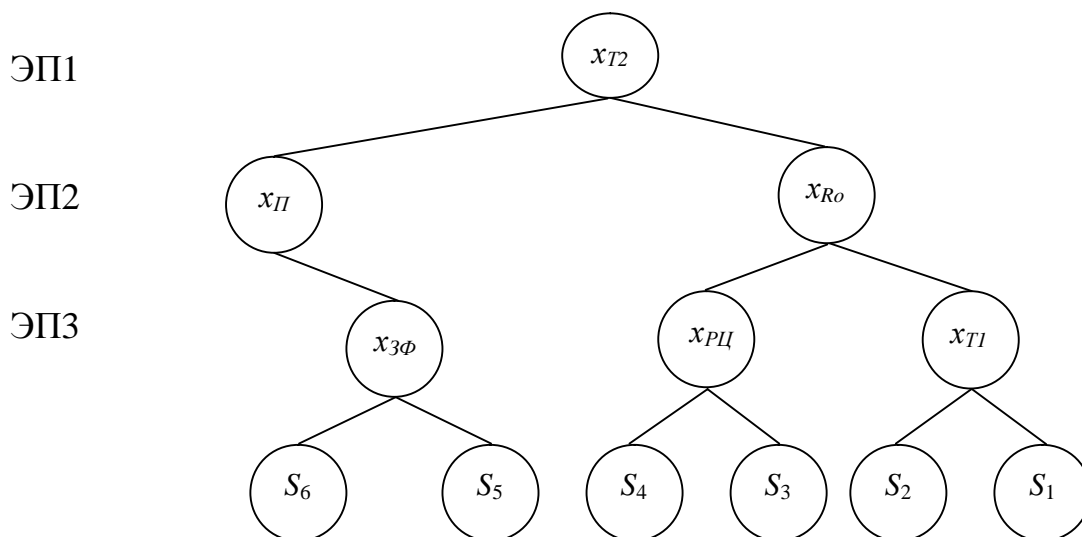


Рис. 34. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

5-й случай. Рассмотрим случай, когда в качестве группы смежных элементов может выступать и один элемент, у которого вероятность отказа q_1 больше условия программы (рис. 35).

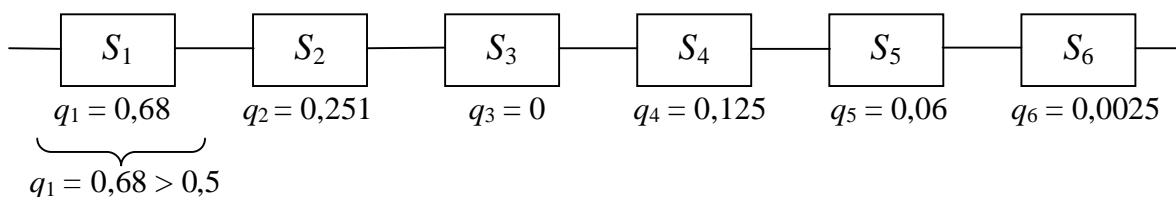


Рис. 35. Схема программы «по максимуму информации»

Если первое условие программы не выполняется, следовательно, программа не применяется. Необходимо применять другую программу.

6-й случай. Рассмотрим случай, когда первая группа смежных элементов меньше $\sum_{i=1}^n q_i \approx 0,5$, а вторая группа выполняет это условие (рис. 36).

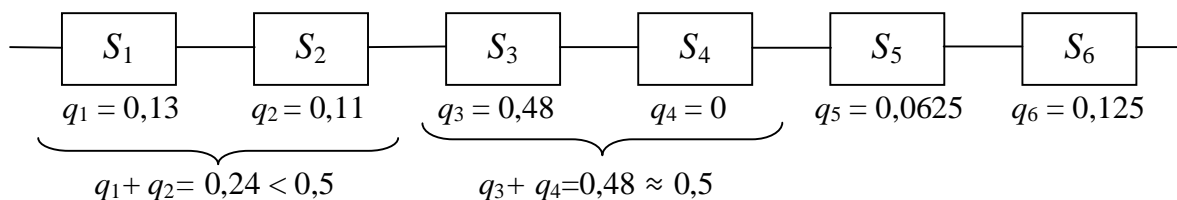


Рис. 36. Схема программы «по максимуму информации»

Если первое условие программы не выполняется, следовательно, программа не применяется. Необходимо применять другую программу.

4.3. Программа поиска места отказа «половинного разбиения»

Программа поиска места отказа «половинного разбиения» является упрощенным аналогом программы «по максимуму информации». Программа основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «гибком» порядке последовательных ЭП групп смежных элементов.

Если принять допущение о равновероятности отказа каждого элемента системы $q_1=q_2=\dots=q_i=\dots=q_N$, то максимально информативной первой ЭП будет проверка $N/2$ (половины) элементов. Во второй ЭП должно быть проверено $N/4$ элементов, в третьей – $N/8$ элементов, в четвертой – $N/16$ элементов и т. д. Таким образом, при каждой очередной ЭП проверяется половина смежных элементов от того количества, которое проверялось в предыдущей ЭП.

После каждой ЭП проводится анализ полученных результатов. По результатам такого анализа принимается решение о месте проведения второй и очередных ЭП. Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент.

Пример практического применения программы «половинного разбиения» для четырехэлементной системы представлен на рис. 37.

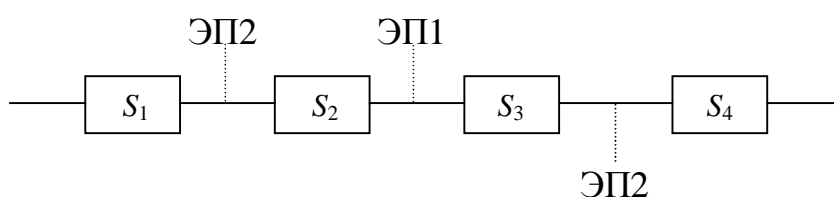


Рис. 37. Схема программы «половинного разбиения»

Первая ЭП (ЭП1) при разработке программы поиска места отказа назначается на том элементе системы, который в смежной группе элементов последний при $N/2$ элементов, т. е. в месте условного разделения системы пополам. После анализа результатов выполненной ЭП для нахождения отказа назначается очередная ЭП (ЭП2) на элементе системы, который в группе смежных элементов последний при $N/4$ элементов, т. е. в месте последующего условного разделения системы пополам, и т. д.

Вертикальные линии, обозначающие ЭП, расставлены над и под схемой. Это необходимо для разграничения ЭП, выполняемых непосредственно после проверок с соответственно положительным и отрицательным исходом. Давшей положительный исход условно будем считать ЭП, если при ней обнаружен отказ, а отрицательной – если отказ не обнаружен.

Программа «половинного разбиения» при сохранении достоинств программы «по максимуму информации» имеет еще одно существенное достоинство – для ее реализации не требуются количественные исходные данные (численные значения вероятности отказа каждого элемента q_i). Это обусловило возможность самого широкого практического применения данного вида программ при поиске неисправностей в системах. При разработке программы не требуется высокая квалификация специалиста.

Фактором, ограничивающим область применения программы «половинного разбиения», является то, что она применима далеко не ко всем техническим системам. Такую программу, равно как и программу «по максимуму информации», можно применить лишь для систем с последовательным соединением элементов.

4.4. Пример разработки программы поиска места отказа «половинного разбиения»

Программа поиска места отказа «половинного разбиения» является упрощенным аналогом программы «по максимуму информации». Программа основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «гибком» порядке последовательных ЭП групп смежных элементов.

После каждой ЭП проводится анализ полученных результатов. По результатам такого анализа принимается решение о месте проведения второй и последующих ЭП. Поиск места отказа в системе прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент.

Условия для реализации программы поиска места отказа в ОД:

1. Принимается допущение о равновероятности отказа каждого элемента системы $q_1=q_2=\dots=q_i=\dots=q_N$.

2. Максимально информативной первой ЭП будет проверка $N/2$ элементов, во второй ЭП должно быть проверено $N/4$ элементов, в третьей – $N/8$ элементов, в четвертой – $N/16$ элементов и т. д., где N – количество

элементов системы. Таким образом, при каждой очередной ЭП проверяется половина смежных элементов от того количества, которое проверялось в предыдущей ЭП.

Примечание: В связи с тем, что группа смежных элементов может состоять из нечетного количества, назначение ЭП для выполнения указанных условий осуществляется произвольно примерно в равной пропорции. Например, для трех элементов это либо один к двум, либо два к одному и т. д.

Программу разрабатываем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему упрощенной системы рельсовой цепи, которая представлена на рис. 38, и определяем, что система состоит из 11 комплектующих устройств, т. е. $N = 11$.

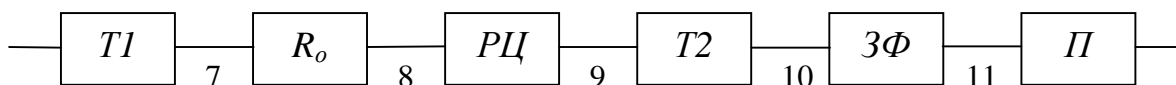


Рис. 38. Структурная схема упрощенной системы рельсовой цепи

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний системы.

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{11} = 2048$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{11} - 1 = 2047$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S системы принимаем принятые в технической диагностике следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 11$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 7, 8, 9, 10, 11), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний системы S равно всего лишь 6.

Таковыми состояниями являются:

- S_1 – отказ T_1 ;
- S_2 – отказ R_o ;
- S_3 – отказ PC ;
- S_4 – отказ T_2 ;
- S_5 – отказ 3Φ ;
- S_6 – отказ $П$.

1.3. Из эксплуатационной документации для каждого контролируемого параметра устанавливаем технологию замера параметров и требуемую контрольно-проверочную аппаратуру (КПА).

В качестве параметров перечисленных состояний будем использовать отклонение от установленной нормы значений тех или иных параметров. Эти параметры, характеризующие состояние каждого блока системы, указаны в задании:

- x_{T1} – величина напряжения T_1 , $x_{T1 \text{ доп}} = 27$ В;
- x_{R_o} – величина сопротивления резистора R_o , $x_{R_o \text{ доп}} = 15$ Ом;
- $x_{PЦ}$ – величина напряжения $PЦ$, $x_{PЦ \text{ доп}} = 30$ В;
- x_{T2} – величина напряжения T_2 , $x_{T2 \text{ доп}} = 35$ В;
- $x_{3\Phi}$ – величина частоты 3Φ , $x_{3\Phi \text{ доп}} = 100$ Гц;
- $x_{П}$ – величина напряжения $П$, $x_{П \text{ доп}} = 27$ В.

Для замера параметров x_{T1} , x_{T2} и $x_{П}$ выбираем указатель напряжения двухполюсный универсальный «Комби» (п. 7.8 [1]), для $x_{PЦ}$ – высокоомный вольтметр (пп. 7.10.3 [1]), для x_{R_o} – измеритель сопротивления М-16 (пп. 7.10.3 [1]) и для $x_{3\Phi}$ – схему, приведенную на рис. 127 пп. 7.15.4 [1].

1.4. Разрабатываем программу в следующей последовательности:

На схеме программы назначаем первую ЭП (на рис. 39 ЭП1) для проверки параметра $x_{PЦ}$ на $PЦ$, т. е. на том элементе, который в смежной группе элементов последний при $N/2$ элементов. Обозначение выполненной ЭП1 указываем на схеме в виде штриховой линии. Линию, обозначающую ЭП, будем изображать над схемой элементов в том случае, если предыдущая ЭП дала положительный результат, т. е. при ней обнаружен отказ, и под схемой, если предшествующая ЭП дала отрицательный результат, т. е. отказ не обнаружен.

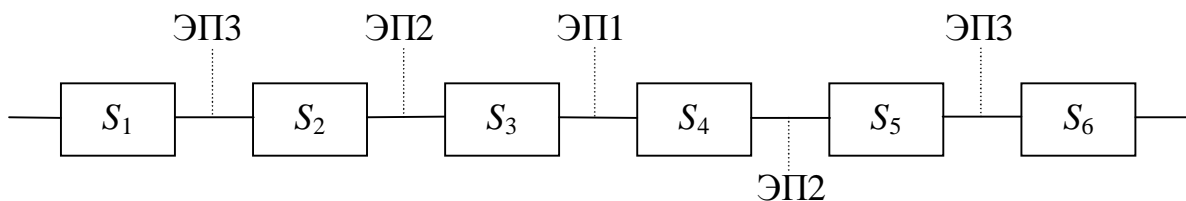


Рис. 39. Схема программы упрощенной системы рельсовой цепи

В дальнейшем возможны два варианта разработки программы:

1-й вариант:

- если $x_{PЦ} = x_{PЦ \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП2;
- назначаем ЭП2 для проверки параметра x_{T2} на T_2 , т. е. на элементе, который в смежной группе элементов последний при $N/4$ элементов;
- если $x_{T2} = x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ ЭП3, так как отказ не найден, а если $x_{T2} \neq x_{T2 \text{ доп}} \rightarrow$ отказ T_2 , т. е. S_4 ;
- назначаем ЭП3 на 3Φ , т. е. на элементе, который в смежной группе элементов последний при $N/8$ элементов;
- если $x_{3\Phi} = x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ $П$, т. е. S_6 , а если $x_{3\Phi} \neq x_{3\Phi \text{ доп}} \rightarrow$ отказ 3Φ , т. е. S_5 ;

2-й вариант:

- если $x_{PC} \neq x_{PC \text{ ДОП}} \rightarrow$ ЭП2;
- назначаем ЭП2 на R_o , т. е. на элементе, который в смежной группе элементов последний при $N/4$ элементов;
- если $x_{R_o} = x_{R_o \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ PC , т. е. S_3 , а если $x_{R_o} \neq x_{R_o \text{ ДОП}} \rightarrow$ ЭП3, так как отказ не найден;
- назначаем ЭП3 на T_1 , т. е. на элементе, который в смежной группе элементов последний при $N/8$ элементов;
- если $x_{T_1} = x_{T_1 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ R_o , т. е. S_2 , а если $x_{T_1} \neq x_{T_1 \text{ ДОП}} \rightarrow$ отказ T_1 , т. е. S_1 .

Выводы:

1. Для поиска места отказа применяем систему функционального диагностирования.

2. При ЭП1, если $x_{PC} = x_{PC \text{ ДОП}}$, имеем отказ T_2 при ЭП2 и отказы $П$ и $ЗФ$ при ЭП3.

3. При ЭП1, если $x_{PC} \neq x_{PC \text{ ДОП}}$, имеем отказ PC при ЭП2 и отказы R_o и T_1 при ЭП3.

Строим алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева» (рис. 40), располагая дуги влево при соответствии допустимому значению проверяемого параметра и вправо – при несоответствии.

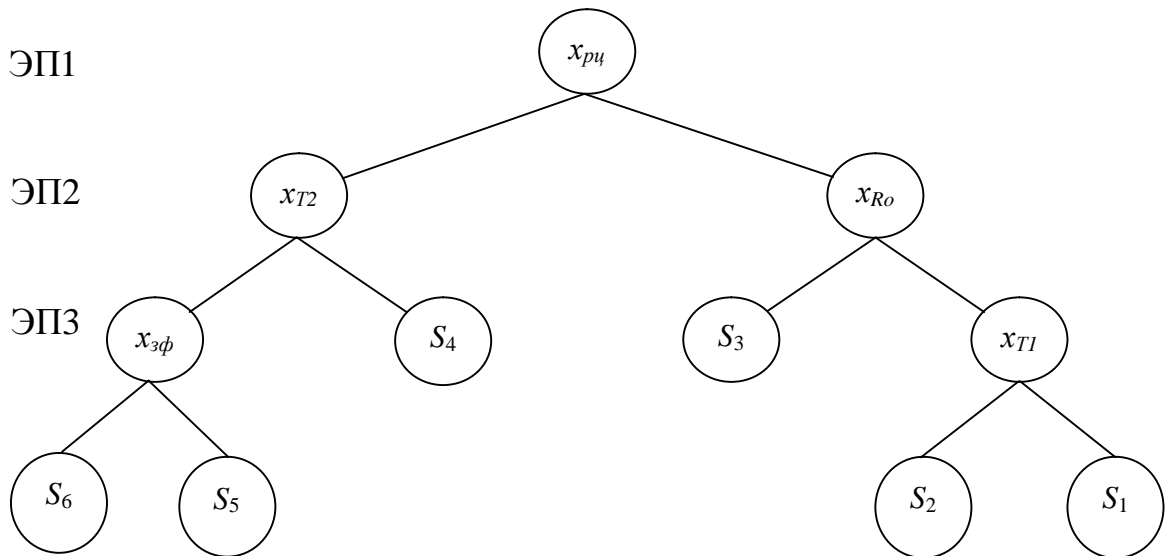


Рис. 40. Алгоритм программы в виде «ветвящегося дерева»

4.5. Задания для выполнения расчетно-графической работы № 3 (контрольной работы)

Расчетно-графическая работа № 3 (контрольная работа) на тему «Разработка гибко-последовательных программ поиска места отказа в системах обеспечения движения поездов (в строительстве железных дорог, мостов и транспортных тоннелей)» выполняется по вариантам, которые задаются преподавателем каждому студенту.

Студент на отдельном белом листе формата А4 формирует задание на расчетно-графическую работу (контрольную работу) согласно представленному примеру, показанному в приложении 6 настоящего пособия.

Расчетно-графическая работа (контрольная работа) выполняется на белых листах формата А4 в рукописном или печатном виде на ПЭВМ в соответствии с примером по пп. 4.2 и пп. 4.4.

Пример оформления титульного листа расчетно-графической работы (контрольной работы) представлен в приложении 2 настоящего пособия (см. пп. 3.5).

После разработки программы поиска места отказа вся расчетно-графическая работа (контрольная работа) скрепляется степлером в следующем порядке:

- титульный лист (указан в приложении 2);
- лист с оформленным заданием на расчетно-графическую работу (контрольную работу) согласно приложению 6;
- листы с разработкой программы (пример оформления первого листа программы приведен в приложении 5 с заменой названий программ).

Задания представлены в табл. 12, в которой 1-я схема соответствует разработке программы «по максимуму информации», а 2-я схема – программе «половинного разбиения».

Для составления структурных схем систем использовать нумерацию элементов и их названия, указанные под рисунками каждой системы.

Таблица 12

Номер варианта	Номер схемы	Контролируемые параметры										
	1	$X_{ЭП1}$ ДОП, В	$X_{Р1}$ ДОП, ОМ	$X_{Д1}$ ДОП, ОМ	$X_{Д2}$ ДОП, ОМ	$X_{Д3}$ ДОП, В	$X_{НКЛ}$ ДОП, В	$X_{НКЛ}$ ДОП, ОМ	$X_{БУ}$ ДОП, В	$X_{БОВ}$ ДОП, Вг	$X_{БП}$ ДОП, А	$X_{ЛС}$ ДОП, В
	2	$X_{ЛЧ}$ ДОП, В	$X_{Т1}$ ДОП, ОМ	$X_{ДТ1}$ ДОП, ОМ	$X_{РЦ}$ ДОП, ОМ	$X_{ДТ2}$ ДОП, В	$X_{Т2}$ ДОП, В	$X_{ФП}$ ДОП, ОМ	$X_{БС}$ ДОП, Вг	$X_{БК}$ ДОП, А	$X_{СР}$ ДОП, В	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1	1	27	54	15	56	28	25	12	34	28	16	36
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
2	1	27	32	20	47	21	32	11	33	26	18	36
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3	1	27	47	36	71	52	41	25	67	23	18	36
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
4	1	27	76	51	32	86	94	53	12	43	27	36
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
5	1	27	34	57	32	78	29	23	39	45	19	36
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	1	27	21	95	51	90	44	63	26	23	5	36
		0,08	0,12	0,15	0,13	0	0,09	0,09	0,07	0,04	0,17	0,3
	2	27	67	89	11	22	26	98	56	45	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
7	1	27	50	25	50	27	24	13	36	23	15	36
		0,038	0,502	0,016	0,003	0,05	0,04	0,1	0,041	0,125	0,017	0,03
	2	27	51	55	30	87	65	23	43	85	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
8	1	27	12	28	45	17	14	43	62	78	25	36
		0,05	0,1	0,13	0,13	0,05	0,07	0,07	0,105	0,04	0,035	0,3
	2	27	50	25	50	27	24	13	23	15	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
9	1	27	76	51	45	98	124	113	16	123	115	36
		0,08	0,17	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,11	0,047	0,085	0,04
	2	27	32	51	98	127	124	131	293	16	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
10	1	27	67	34	51	27	24	19	136	232	151	36
		0,27	0,14	0,12	0,123	0,13	0,02	0,04	0,01	0,03	0,025	0,0625
	2	27	89	123	134	123	324	132	230	115	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
11	1	27	54	25	50	27	24	13	36	23	15	36
		0,16	0,21	0,01	0,03	0,07	0,251	0,019	0,106	0,0625	0,13	0,01
	2	27	59	215	150	297	224	213	323	215	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
12	1	27	65	225	350	127	244	136	396	123	159	36
		0,51	0,01	0,14	0,112	0,013	0,02	0,02	0,02	0,03	0,022	0,14
	2	27	150	125	250	247	124	173	23	55	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	1	27	50	25	50	27	24	13	36	23	15	36
		0,21	0,16	0,05	0,07	0,251	0,071	0,054	0,06	0,0025	0,01	0,15
	2	27	239	215	150	237	524	183	123	123	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
14	1	27	500	225	55	28	44	113	236	123	155	36
		0,13	0,01	0,05	0,08	0,02	0,03	0,07	0,09	0	0,228	0,02
	2	27	23	125	350	271	242	131	273	115	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
15	1	27	46	28	267	189	23	73	326	243	105	36
		0,01	0	0,33	0	0,17	0	0,17	0,02	0,061	0,17	0,125
	2	27	98	90	170	217	124	113	203	159	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
16	1	27	77	23	58	271	124	103	236	223	154	36
		0	0,16	0,15	0,05	0	0,1	0,03	0,2	0,05	0,1	0,025
	2	27	75	89	350	127	324	213	235	152	36	-
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
17	1	27	65	90	250	247	124	136	346	213	150	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	98	76	152	217	247	213	243	152	36	-
		0,49	0,08	0,02	0,04	0,07	0,041	0,125	0,03	0,0325	0,3	-
18	1	27	23	27	513	47	241	113	336	237	95	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	123	43	89	217	98	147	108	78	36	-
		0,07	0,06	0,15	0,07	0,08	0,11	0,12	0,13	0,25	0,17	-
19	1	27	76	51	45	98	124	113	16	123	115	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	23	125	350	271	242	131	273	115	36	-
		0,15	0,02	0,18	0,153	0,15	0,03	0,04	0,03	0,27	0,14	-
20	1	27	34	57	32	78	29	23	39	45	19	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	239	215	150	237	524	183	123	123	36	-
		0,1	0,05	0,13	0,05	0,13	0,07	0,14	0,04	0,07	0,12	-

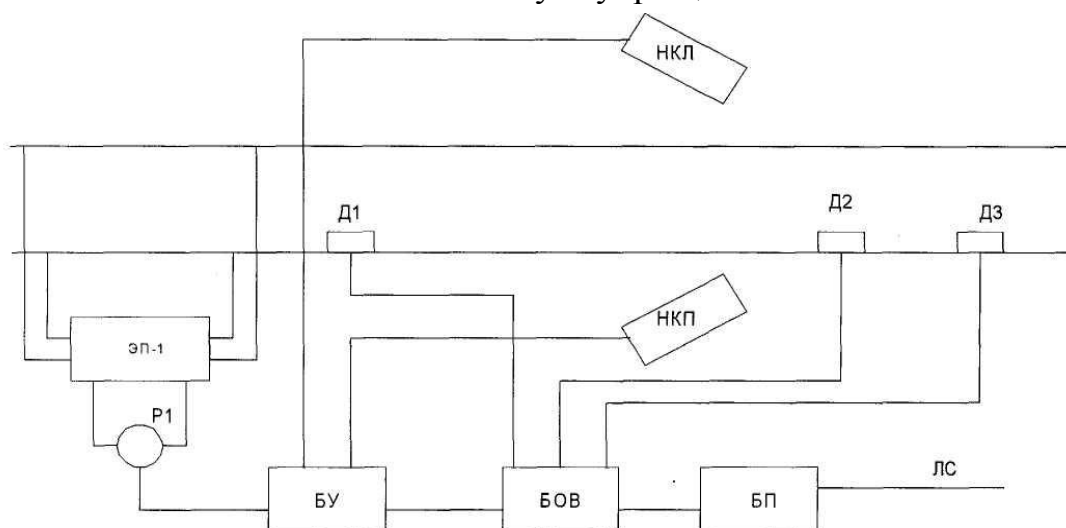
Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	1	27	46	28	267	189	23	73	326	243	105	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	32	51	98	127	124	131	293	16	36	-
		0,003	0,08	0,01	0,03	0,09	0,025	0,06	0,09	0,024	0,097	.
22	1	27	21	95	51	90	44	63	26	23	5	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	67	89	11	22	26	98	56	45	36	-
		0,12	0,13	0	0,08	0,15	0,08	0,08	0,09	0,16	0,04	.
23	1	27	500	225	55	28	44	113	236	123	155	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	23	125	350	271	242	131	273	115	36	-
		0,51	0,03	0,09	0,003	0,006	0,05	0,041	0,06	0,125	0,017	.
24	1	27	34	57	32	78	29	23	39	45	19	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	67	89	11	22	26	98	56	45	36	-
		0,05	0,07	0,05	0,13	0,1	0,13	0,105	0,035	0,11	0,22	.
25	1	27	46	28	267	189	23	73	326	243	105	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	239	215	150	237	524	183	123	125	36	-
		0,17	0,06	0,08	0,05	0,08	0,05	0,047	0,14	0,11	0,085	.
26	1	27	21	95	51	90	44	63	26	23	5	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	32	51	98	127	124	131	293	16	36	-
		0,14	0,12	0,27	0,13	0,123	0,04	0,01	0,02	0,055	0,0625	.
27	1	27	53	45	56	38	44	113	236	123	155	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	23	125	350	271	242	131	273	115	36	-
		0,21	0,01	0,03	0,16	0,07	0,251	0,106	0,019	0,0625	0,13	.
28	1	27	46	28	267	189	23	73	326	243	105	36
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	27	500	225	55	28	44	113	236	123	155	-
		0,01	0,52	0,114	0,136	0,022	0,02	0,013	0,02	0,03	0,02	.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
29	1	27	34	57	32	78	29	23	39	45	19	36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	27	239	215	150	237	524	183	123	123	125	36	-
		0,07	0,21	0,05	0,16	0,251	0,054	0,071	0,0025	0,06	0,01	.	.
30	1	27	21	95	51	90	44	63	26	23	5	36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	27	32	51	98	127	124	131	293	16	36	-	
		0,02	0,08	0,05	0,13	0,01	0,09	0,1	0	0,228	0,022	.	.
31	1	27	46	28	267	189	23	73	326	243	105	36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	27	23	125	350	271	242	131	273	115	36	-	
		0,17	0,01	0	0,33	0	0	0,061	0,17	0,02	0,17	.	.
32	1	27	34	57	32	78	29	23	39	45	19	36	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	27	67	89	11	22	26	98	56	45	36	-	
		0,15	0	0,05	0	0,16	0,03	0,1	0,2	0,05	0,125	.	.

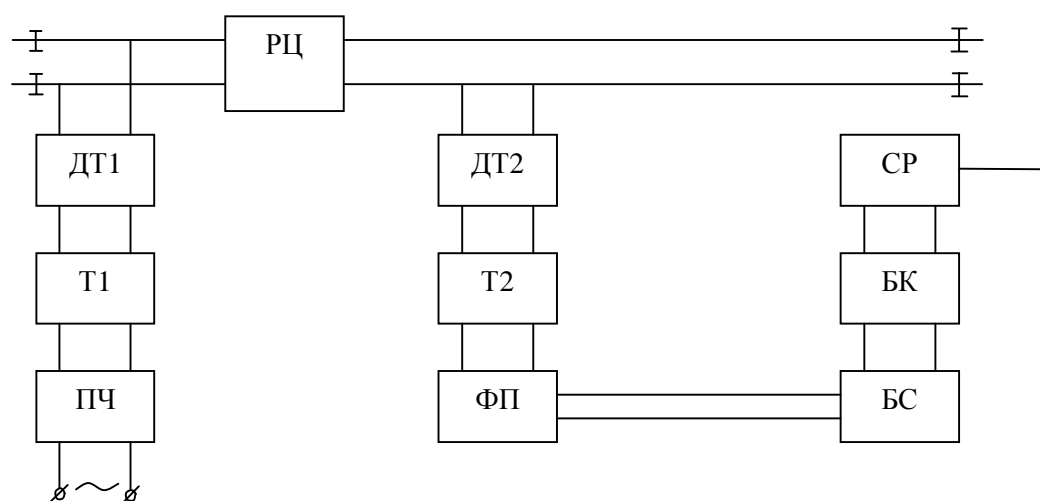
Примечания:

1. Варианты схем системы:

– *1-я схема системы* соответствует упрощенной схеме ПОНАБ.

Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевого реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

– **2-я схема системы** соответствует упрощенной схеме сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки.



Состав системы: 1) ПЧ – преобразователь частоты; 2) Т1 – входной трансформатор; 3) ДТ1 – входной дроссель-трансформатор; 4) РЦ – рельсовая цепь; 5) ДТ2 – выходной дроссель-трансформатор; 6) Т2 – выходной трансформатор; 7) ФП – фильтр выходной платы; 8) БС – блок сигналов; 9) БК – блок кодов; 10) СР – сигнальное реле.

**Расчетно-графическая работа № 1 (Контрольная работа (Задание № 1))
(Вариант № 1)**

По упрощенной схеме поста наблюдения (ПОНАБ) (см. рис.) разработать комбинационную программу поиска места отказа «на основе метода И.М. Синдеева».

Исходные данные:

1. В качестве признаков технических состояний элементов использовать отклонение от установленной нормы следующих значений параметров: x_1 – повышение уровня шума; x_2 – повышение давления; x_3 – повышение температуры; x_4 – величина напряжения; x_5 – величина силы тока; x_6 – величина сопротивления обмоток; x_7 – величина сопротивления контакта; x_8 – величина сопротивления изоляции.

2. При составлении схемы причинно-следственных связей технических состояний и контролируемых признаков состояний учесть следующее:

– расположение технических состояний и контролируемых признаков состояний произвести последовательно слева направо;

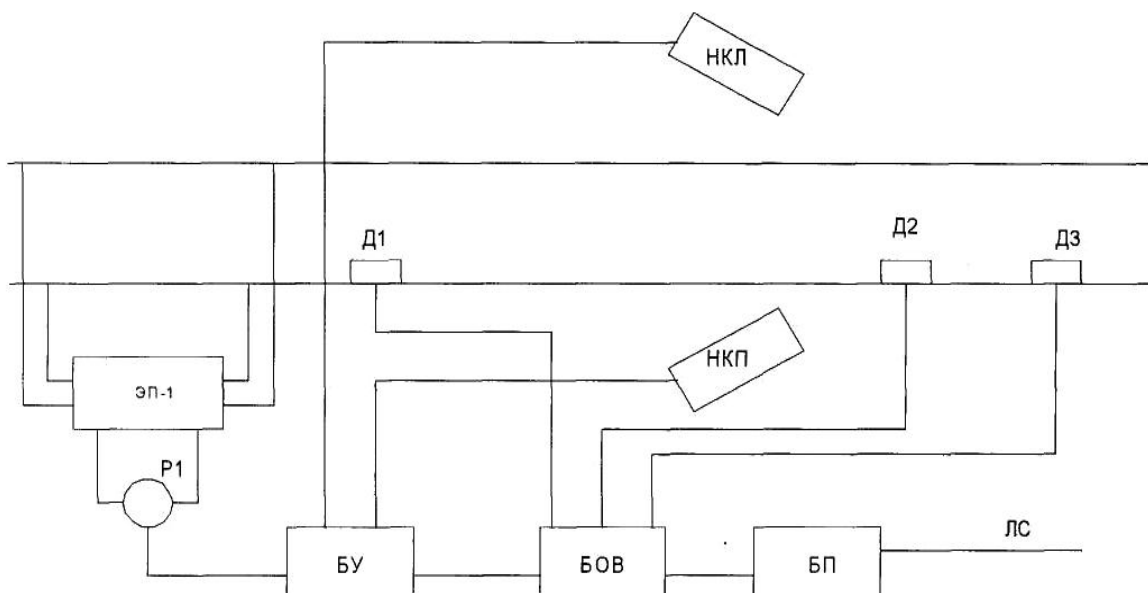
– контролируемый признак состояния x_8 реагирует со всеми техническими состояниями элементов;

– контролируемых признаков состояний x_i , которые не реагируют со всеми техническими состояниями элементов, нет;

– контролируемые признаки состояний x_3 и x_4 взаимно дублируют друг друга;

– остальные взаимосвязи технических состояний элементов и контролируемых признаков состояний осуществить по своему выбору произвольно, исходя из присутствия реальных признаков состояний на элементах.

3. Для составления структурной схемы системы использовать нумерацию элементов и их названия, указанные под рисунком.



Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевое реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ
(ФГБОУ ВПО ИргГУПС)»**

Факультет «Системы обеспечения транспорта»
Кафедра «Теоретическая механика и приборостроение»

**РАЗРАБОТКА КОМБИНАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ
ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
КР.420400.190401.65.ПЗ**

Выполнил
студент группы ЭНС-08-1-1
Петров А.П.

«25» сентября 2013 г.

Проверил
доцент Сидоров С.В.

«30» сентября 2013 г.

Иркутск 2013

Разработка комбинационной программы поиска места отказа в системах обеспечения движения поездов (Вариант № 1)

Комбинационную программу поиска места отказа «на основе метода И.М. Синдеева» формируем в следующей последовательности:

1.1. Составляем структурную схему системы (рис. 1) и определяем, что система состоит из 15 комплектующих устройств, т. е. $N = 15$.

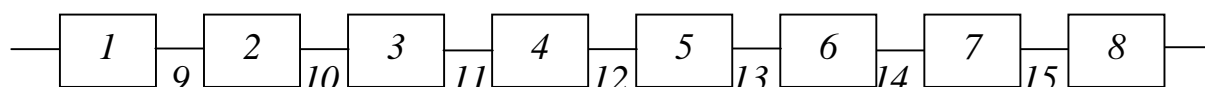


Рис. 1. Структурная схема системы

1.2. Осуществляем последовательность выбора контролируемых состояний.

Количество всех возможных состояний E для системы определим как $E = 2^{15} = 32768$, при этом общее количество ее возможных неработоспособных состояний $S = 2^{15} - 1 = 32767$.

Для уменьшения числа учитываемых состояний S системы принимаем следующие допущения:

1. Вероятность одновременного возникновения в системе отказов двух и более элементов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью отказа только одного элемента. Фактически это означает, что число неработоспособных состояний системы может быть определено как $S = 15$.

2. Можно исключить из рассмотрения отказы тех элементов, вероятность отказа которых мала или отказы которых не имеют опасных последствий. Отбросив маловероятные отказы (блоки 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), получим, что наиболее вероятное количество неработоспособных состояний системы S равно всего лишь 8.

Далее текстовая часть с разработкой программы

.....

.....

.....

.....

Список использованных источников

1. Сафарбаков, А.М. Основы технической диагностики деталей и оборудования : учебное пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. Ч. 1 и Ч. 2. – Иркутск : ИрГУПС, 2007. – 238 с.

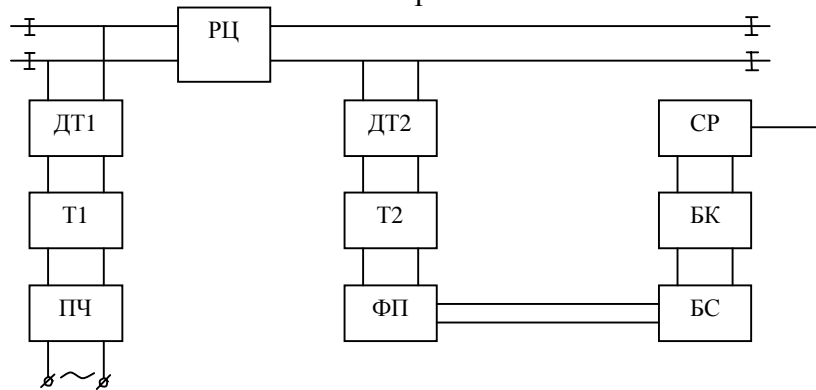
**Расчетно-графическая работа № 2 (Контрольная работа (Задание № 2))
(Вариант № 1)**

1.1. По упрощенной схеме сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки разработать программу поиска места отказа «по функциональной схеме».

Исходные данные:

– $x_{ПЧ\text{ доп}} = 220 \text{ В}$; $x_{Т1\text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{ДТ1\text{ доп}} = 25 \text{ Ом}$; $x_{РЦ\text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{ДТ2\text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
 $x_{Т2\text{ доп}} = 24 \text{ В}$; $x_{ФП\text{ доп}} = 13 \text{ Ом}$; $x_{БС\text{ доп}} = 23 \text{ Вт}$; $x_{БК\text{ доп}} = 15 \text{ А}$; $x_{СР\text{ доп}} = 36 \text{ В}$.

Обнаружен отказ элемента системы при ЭПб.



Состав системы: 1) ПЧ – преобразователь частоты; 2) Т1 – входной трансформатор; 3) ДТ1 – входной дроссель-трансформатор; 4) РЦ – рельсовая цепь; 5) ДТ2 – выходной дроссель-трансформатор; 6) Т2 – выходной трансформатор; 7) ФП – фильтр выходной платы; 8) БС – блок сигналов; 9) БК – блок кодов; 10) СР – сигнальное реле.

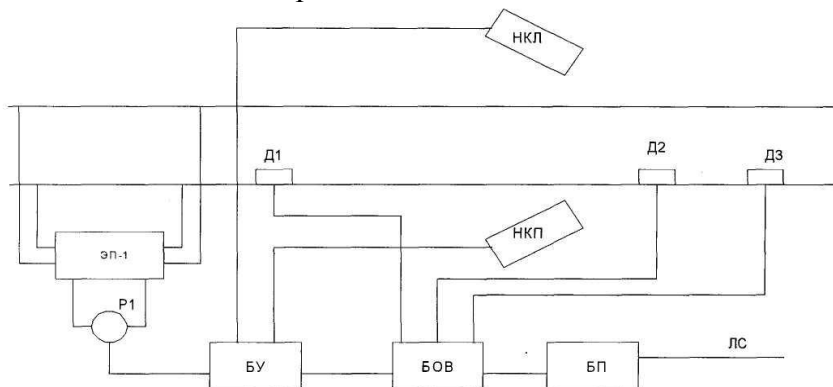
1.2. По упрощенной схеме поста наблюдения (ПОНАБ) разработать программу поиска места отказа «вероятность – время».

Исходные данные:

– $x_{ЭП-1\text{ доп}} = 220 \text{ В}$; $x_{Р1\text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{Д1\text{ доп}} = 25 \text{ Ом}$; $x_{Д2\text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{Д3\text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
 $x_{НКП\text{ доп}} = 24 \text{ В}$; $x_{НКЛ\text{ доп}} = 13 \text{ Ом}$; $x_{БУ\text{ доп}} = 36 \text{ В}$; $x_{БОВ\text{ доп}} = 23 \text{ Вт}$; $x_{БП\text{ доп}} = 15 \text{ А}$;
 $x_{ЛС\text{ доп}} = 36 \text{ В}$;

– $q_1 = 0,53$; $\tau_1 = 19 \text{ мин}$; $q_2 = 0,09$; $\tau_2 = 17 \text{ мин}$; $q_3 = 0,01$; $\tau_3 = 5 \text{ мин}$; $q_4 = 0,05$; $\tau_4 = 31 \text{ мин}$;
 $q_5 = 0,06$; $\tau_5 = 25 \text{ мин}$; $q_6 = 0,041$; $\tau_6 = 30 \text{ мин}$; $q_7 = 0,125$; $\tau_7 = 47 \text{ мин}$; $q_8 = 0,03$; $\tau_8 = 20 \text{ мин}$;
 $q_9 = 0,0325$; $\tau_9 = 25 \text{ мин}$; $q_{10} = 0,7$; $\tau_{10} = 47 \text{ мин}$; $q_{11} = 0,25$; $\tau_{11} = 36 \text{ мин}$.

Обнаружен отказ элемента при ЭП2.



Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевое реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

**1.1. Разработка программы поиска места отказа
«по функциональной схеме» в системах обеспечения
движения поездов
(Вариант № 1)**

Программа «по функциональной схеме» основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «жестком» порядке (строго по функциональной схеме отказавшей системы, например в порядке передачи от элемента к элементу механической нагрузки или в направлении движения жидкости) последовательных элементарных проверок (ЭП).

Результаты каждой ЭП сразу же анализируются.

ЭП подлежит диагностический параметр (параметры) каждого отдельного элемента системы.

Поиск места отказа прекращается, как только при анализе результатов очередной ЭП окажется найденным отказавший элемент системы.

Далее текстовая часть с разработкой программы

**1.2. Разработка программы поиска места отказа
«вероятность – время» в системах обеспечения
движения поездов
(Вариант № 1)**

Программа «вероятность – время» основана на поиске места отказа в ОД путем выполнения в «жестком» порядке последовательных элементарных проверок (ЭП) элементов.

Далее текстовая часть с разработкой программы

Список использованных источников

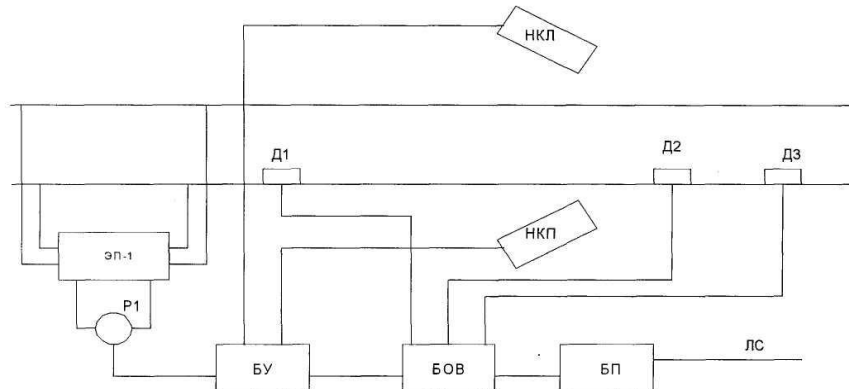
1. Сафарбаков, А.М. Основы технической диагностики деталей и оборудования : учебное пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. Ч. 1 и Ч. 2. – Иркутск : ИрГУПС, 2007. – 238 с.

**Расчетно-графическая работа № 3 (Контрольная работа (Задание № 3))
(Вариант № 1)**

1.1. По упрощенной схеме поста наблюдения (ПОНАБ) разработать гибко-последовательную программу поиска места отказа «по максимуму информации».

Исходные данные:

- $x_{ЭП-1 \text{ доп}} = 220 \text{ В}$; $x_{Р1 \text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{Д1 \text{ доп}} = 25 \text{ Ом}$; $x_{Д2 \text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{Д3 \text{ доп}} = 27 \text{ В}$;
- $x_{НКП \text{ доп}} = 24 \text{ В}$; $x_{НКЛ \text{ доп}} = 13 \text{ Ом}$; $x_{БУ \text{ доп}} = 36 \text{ В}$; $x_{БОВ \text{ доп}} = 23 \text{ Вт}$; $x_{БП \text{ доп}} = 15 \text{ А}$;
- $x_{ЛС \text{ доп}} = 36 \text{ В}$;
- $q_1 = 0,53$, $q_2 = 0,09$, $q_3 = 0,01$, $q_4 = 0,05$, $q_5 = 0,06$, $q_6 = 0,041$, $q_7 = 0,125$, $q_8 = 0,03$,
 $q_9 = 0,0325$, $q_{10} = 0,7$, $q_{11} = 0,25$.

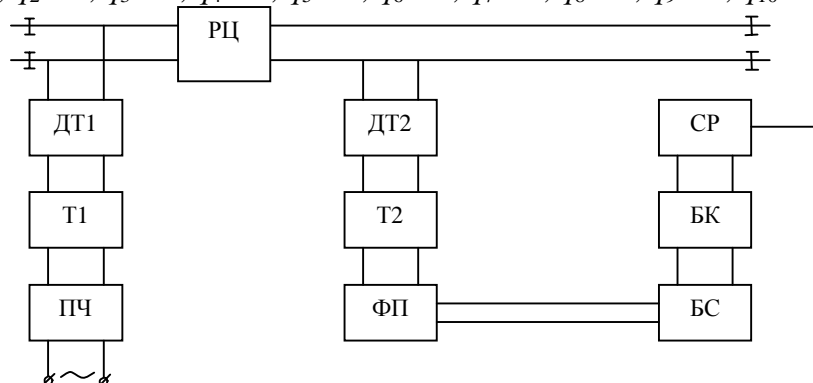


Состав системы: 1) ЭП-1 – электронная педаль; 2) Р1 – путевое реле; 3) Д1; 4) Д2; 5) Д3 – датчики счёта осей; 6) НКП – напольная камера правая; 7) НКЛ – напольная камера левая; 8) БУ – блок управления; 9) БОВ – блок отметчик вагонов; 10) БП – блок передачи сообщений; 11) ЛС – линия связи.

1.2. По упрощенной схеме сигнальной точки числовой кодовой автоблокировки разработать гибко-последовательную программу поиска места отказа «половинного разбиения».

Исходные данные:

- $x_{ПЧ \text{ доп}} = 220 \text{ В}$; $x_{Т1 \text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{ДТ1 \text{ доп}} = 25 \text{ Ом}$; $x_{РЦ \text{ доп}} = 50 \text{ Ом}$; $x_{ДТ2 \text{ эз доп}} = 27 \text{ В}$;
- $x_{Т2 \text{ доп}} = 24 \text{ В}$; $x_{ФП \text{ доп}} = 13 \text{ Ом}$; $x_{БС \text{ доп}} = 23 \text{ Вт}$; $x_{БК \text{ доп}} = 15 \text{ А}$; $x_{СР \text{ доп}} = 36 \text{ В}$.
- $q_1 = 0$; $q_2 = 0$; $q_3 = 0$; $q_4 = 0$; $q_5 = 0$; $q_6 = 0$; $q_7 = 0$; $q_8 = 0$; $q_9 = 0$; $q_{10} = 0$.



Состав системы: 1) ПЧ – преобразователь частоты; 2) Т1 – входной трансформатор; 3) ДТ1 – входной дроссель-трансформатор; 4) РЦ – рельсовая цепь; 5) ДТ2 – выходной дроссель-трансформатор; 6) Т2 – выходной трансформатор; 7) ФП – фильтр выходной платы; 8) БС – блок сигналов; 9) БК – блок кодов; 10) СР – сигнальное реле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техническое диагностирование является важной составляющей ежедневной практики инженеров в области разработки и эксплуатации устройств, деталей и оборудования железнодорожного транспорта. Техническая диагностика как наука определяет пути и методы наиболее эффективного контроля технического состояния объектов, а значит, и управления ими.

В данном учебно-методическом пособии рассмотрены средства диагностирования параметров устройств на железнодорожном транспорте, методы оценки информативности диагностических параметров (признаков), основные методы и программы поиска мест отказов.

Все рассмотренные методы и программы поиска места отказа в объектах и системах железнодорожного транспорта обеспечивают проведение специалистами системного упорядоченного поиска места отказа в неисправных устройствах. Это позволяет на один-два порядка сократить общее время поиска неисправностей по сравнению с бессистемными, неупорядоченными методами, например методом «тыка».

При разработке настоящего пособия усилия авторов были направлены на обеспечение структурированности и системности изложения учебного и методического материала, особенно в направлении качественного выполнения студентами расчетно-графической работы (контрольной работы) по дисциплине согласно учебным планам каждого из профилей. Особое внимание уделено приобретению студентами практических навыков при выборе системы диагностирования системы, контролируемых параметров и необходимой контрольно-проверочной аппаратуры для проведения процесса диагностирования. И это оправдано, так как техническая диагностика имеет тесную связь со всеми специальными дисциплинами, изучаемыми студентами, и они в дальнейшем полностью опираются на знания, полученные при изучении дисциплины «Основы технической диагностики».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафарбаков, А.М. Основы технической диагностики деталей и оборудования : учеб. пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. Ч. 1 и Ч. 2. – Иркутск : ИрГУПС, 2007. – 238 с.
2. Ефимов, А.В. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин. – М. : УМК МПС России, 2000. – 512 с.
3. ГОСТ Т 20911-1989. Техническая диагностика. Термины и определения. – Введ. 1991–01–01. – М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1991. – 9 с.: ил.

Учебное издание

**ПРОГРАММЫ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА
В ОБЪЕКТАХ И СИСТЕМАХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине «Основы технической диагностики»

Редактор *Ф.А. Ильина*
Компьютерный набор *С.В. Пахомова*

Подписано в печать 24.09.2013.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 5,88.
План 2013 г. Тираж 70 экз. Заказ

Типография ИрГУПС, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15