

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи

Нгуен Ле Зуй



**МОДЕЛИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ВЬЕТНАМА**

Специальность 2.3.3. – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Топольский Н.Г.

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ВЬЕТНАМА | 13 |
| 1.1. Аналитический обзор пожарной опасности промышленных объектов Вьетнама..... | 13 |
| 1.2. Анализ состояния пожарной безопасности электрооборудования Вьетнама..... | 18 |
| 1.3 Анализ пожарной опасности электрооборудования промышленных объектов Вьетнама | 30 |
| 1.3.1 Анализ пожарной безопасности изоляции проводов электрооборудования | 30 |
| 1.3.2. Анализ процессов, происходящих в предаварийном режиме работы электрооборудования | 31 |
| 1.3.3. Тепловое действие, возникающее в предаварийном режиме работы электрооборудования | 33 |
| 1.4. Анализ методов оценки пожарной опасности электрооборудования..... | 35 |
| 1.4.1. Анализ устройств обнаружения токов утечки и короткого замыкания в электрооборудовании..... | 35 |
| 1.4.2. Анализ устройств защиты электрооборудования промышленных объектов Вьетнама от токов утечки и короткого замыкания. Разработка единой классификации автоматических выключателей..... | 45 |
| 1.5. Постановка задачи и цели исследования..... | 52 |
| Выводы по главе 1..... | 54 |

| | |
|---|---|
| ГЛАВА 2. МОДЕЛИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ | |
| ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ | |
| ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 55 | |
| 2.1. | Определение внешних связей устройств защитного отключения в системах защиты и пожарной безопасности электрических установок 55 |
| 2.2. | Анализ структуры входных сигналов устройств защитного отключения 57 |
| 2.3. | Анализ структуры выходных сигналов устройств защитного отключения 64 |
| 2.4. | Определение типа математических моделей для устройств защитного отключения 68 |
| 2.4.1. | Определение полной системы элементарных автоматов для построения логических сетей устройств защитного отключения 68 |
| 2.4.2. | Синтез автомата для теплового расцепителя устройств защитного отключения..... 81 |
| 2.4.3. | Синтез автоматов для блока электромагнитных расцепителей, блока токоограничивающих устройств, независимого и минимального расцепителей 93 |
| | Выводы по главе 2..... 99 |
| ГЛАВА 3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ | |
| РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В | |
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ | |
| ПОЖАРОВ..... 100 | |
| 3.1. | Вероятностный подход и методы анализа и оценки надежности устройств защитного отключения..... 100 |
| 3.2. | Определение коэффициента готовности автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования..... 111 |

| | |
|---|-----|
| Выводы по главе 3..... | 117 |
| ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ТОКОВ УТЕЧКИ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ..... | 118 |
| 4.1. Определение множества технических состояний и выбор глубины поиска дефекта..... | 118 |
| 4.2. Алгоритм построения диагностических моделей устройств защитного отключения, основанный на дереве событий..... | 125 |
| 4.3. Диагностика системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, с использованием функционального пространства и пространства состояний многоуровневого относительно конечного автомата устройства защитного отключения..... | 134 |
| 4.4. Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей устройств защитного отключения..... | 138 |
| 4.5. Обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей мониторинга устройств защитного отключения..... | 141 |
| 4.6. Алгоритм работы автоматизированной системы предотвращения пожарной и аварийной ситуации, вызванной токами утечки..... | 144 |
| Выводы по главе 4..... | 150 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 152 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... | 155 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 157 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Физические и теоретические основы работы безбалансных дифференциальных трансформаторов тока в автоматизированной системе управления электрооборудованием промышленных объектов..... | 168 |

| | |
|--|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Свидетельства о Государственной регистрации программ для ЭВМ..... | 177 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акты внедрения результатов диссертационной работы.... | 179 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В современных условиях одной из самых масштабных причин возникновения пожаров является неудовлетворительное состояние электрических сетей. Анализ статистики пожаров показал, что доля таких пожаров составляет более 60 % от общего количества пожаров на промышленных объектах.

В последние годы расширяется номенклатура и ассортимент электрических приборов. Увеличение их количества является одной из причин роста числа пожаров на промышленных объектах и увеличения гибели людей.

К числу объективных причин, обуславливающих крайнюю напряженность оперативной обстановки с пожарами на промышленных объектах, следует отнести высокую степень изношенности промышленных объектов, причем речь идет и о конструкциях зданий, и об их инженерном обеспечении; отсутствие экономических возможностей поддержания противопожарного состояния зданий, низкая обеспеченность промышленных объектов средствами обнаружения и оповещения о пожаре, а также современными первичными средствами пожаротушения.

Известно, что фактор времени оказывает решающее влияние на процесс развития пожара и причиняемого пожаром ущерба. Но гораздо более важной проблемой следует считать гибель людей под воздействием опасных факторов пожара (91 % от общей гибели людей), которая происходит в большинстве случаев на его ранней стадии.

Опасность возникновения пожаров при эксплуатации электроустановок появляется при использовании сгораемой изоляции электрических сетей, машин и аппаратов, наличии окислителя (обычно кислорода воздуха) и источника зажигания. Пожары от электроустановок и электрических сетей происходят в результате теплового и искрового действия электрического тока.

Из общего числа пожаров, происходящих от используемого электрооборудования, по данным статистики, возникает от короткого замыкания,

режима перегрузки проводов, кабелей, обмоток электромашин и аппаратов – 68,5%, от неисправностей электрических выключателей и розеток – 8,4%, от электроосветительных приборов – 6%, от электрощитов – 3,3%.

Автоматизированные системы предотвращения пожаров (АСПП) в составе автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) применяются для защиты многих объектов, в состав которых входят электрические установки. В настоящее время развитие устройств защитного отключения (УЗО) АСПП повышает требования к их массе, габаритным размерам, быстродействию, надежности, универсальности. Существует ряд требований по использованию устройств защитного отключения и автоматических выключателей в автоматизированных системах управления, в том числе в АСПП. Основной проблемой является обмен информацией между этими аппаратами защиты и другими элементами системы. В связи с этим возникают три основных направления исследования данной проблематики:

- во-первых, получение, обработка и выдача информации о режиме работы электроустановки в АСПП;
- во-вторых, управление алгоритмом функционирования УЗО с помощью команд, задаваемых АСПП;
- в-третьих, диагностирование УЗО во время функционирования АСПП.

Заметный вклад в решение данной проблемы внесли российские ученые Топольский Н.Г., Смелков Г.И., Веревкин В.Н., Костарев Н.П., Фёдоров А.В., Холостов А.Л., Членов А.Н., Морщинов Е.Д., Анисимов Ю.Н., Малашенков Г.Н. и др. Ими предложены новые элементы и алгоритмы функционирования для построения нового поколения УЗО. Однако методы построения аппаратов защиты основаны на интуитивных подходах и ручном проектировании, которые не обеспечивают формализации проектирования, информационной совместимости с АСПП и диагностирования аппаратов защиты.

В дополнение к работам упомянутых выше авторов в данной работе проблемы защиты электрооборудования предлагается решать путем разработки научно-методических основ создания модели и алгоритмов поддержки управления противопожарной защитой промышленных объектов, на основе решения следующих задач:

- получение, обработка, хранение и выдача информации о режиме работы электрооборудования промышленного объекта в АСПП;
- управление функционированием устройств защитного отключения с помощью команд, задаваемых АСПП;
- диагностирование устройств защитного отключения во время функционирования АСПП.

Объект исследования – автоматизированные системы предотвращения пожаров на промышленных объектах Вьетнама, вызванных токами утечки в электрооборудовании.

Предмет исследования – теоретико-автоматные и вероятностные модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах предотвращения пожаров электрооборудования.

Цель диссертационной работы – повышение уровня пожарной безопасности промышленных объектов Вьетнама на основе создания автоматизированных систем предотвращения пожаров при обнаружении и контроле токов утечки в электрооборудовании с использованием теоретико-автоматных и вероятностных моделей устройств защитного отключения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Провести комплексный анализ пожарной опасности промышленных предприятий Вьетнама. Определить методы контроля за пожароопасными ситуациями в электрических сетях промышленных объектов.

2. Разработать модели конечных автоматов и вероятностные модели для устройств защитного отключения (УЗО) в составе автоматизированных систем

предотвращения пожаров электрооборудования на промышленных предприятиях Вьетнама.

3. Разработать обобщенную структуру и алгоритмы работы функциональных подсистем автоматизированной системы предотвращения пожаров электрооборудования на промышленных предприятиях Вьетнама с использованием автоматных и вероятностных моделей устройств защитного отключения.

4. Разработать алгоритм синтеза автоматных моделей устройств защитного отключения, позволяющий строить состояния УЗО в реальном режиме функционирования.

Методы исследования. В диссертации использованы методы статистической обработки данных, теории вероятностей и случайных процессов, методы теории конечных автоматов, технической диагностики, алгебры логики, моделирования и оптимизации АСУ, теории надежности.

Научная новизна диссертации заключается в том, что впервые:

– разработана и теоретически обоснована полная система конечных автоматов для построения математических моделей устройств защитного отключения, построены модели конечных автоматов для УЗО, а также модели для полной системы функциональных частей УЗО;

– разработаны модели и алгоритмы подсистемы предотвращения пожаров в автоматизированных системах пожаровзрывобезопасности на промышленных предприятиях Вьетнама при обнаружении токов утечки с использованием автоматных и вероятностных моделей;

– получены математические зависимости расчета времени наработки на отказ устройств защитного отключения электросетей промышленного объекта;

– разработан алгоритм оценки работоспособного состояния автоматизированной системы предотвращения пожаров при обнаружении токов утечки в электрооборудовании с учетом надежности системы.

Теоретическая ценность научных результатов заключается в развитии научных представлений о методах математического описания и алгоритмов работы устройств защитного отключения, которые можно реализовать с использованием современной вычислительной техники для реализации автоматизированной системы предотвращения пожаров в электрооборудовании на промышленных объектах.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов на этапе проектирования автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности промышленных объектов и технической реализации автоматизированной системы предотвращения пожаров на этих объектах при обнаружении и контроле токов утечки в электрооборудовании, в возможности предлагаемой системы предоставлять лицу, принимающему решение, необходимую и достаточную информацию о состоянии электрических аппаратов защиты электросети промышленного объекта. На основании предложенной модели и алгоритмов система позволяет помимо прогнозирования отказов электрических аппаратов защиты электросети выдавать решения по текущему ремонту и обслуживанию автоматизированной системы предотвращения пожаров, вызванных токами утечки и короткого замыкания.

Реализация результатов работы. Результаты исследований нашли практическое применение на промышленных объектах и в учебном процессе, в том числе:

- в ГУПО и АСС МОБ Вьетнама при разработке нормативных документов, регламентирующих требования пожарной безопасности во Вьетнаме, и исследовании автоматизированной системы предотвращения пожаров;

- на цементном заводе БимШон Вьетнама при проведении работ подразделений по обеспечению пожарной безопасности предприятия и в комплексе технических решений по совершенствованию АСУТП завода;

- в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплины «Моделирование процессов и систем» на кафедре

информационных технологий для факультета техносферной безопасности в рамках выполнения лабораторных работ;

- в Институте пожарной безопасности МОБ Вьетнама при подготовке специалистов пожарной безопасности.

Практическое применение результатов исследования подтверждено актами внедрения.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на международных научно-практических конференциях «Системы безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017-2021 г.), научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017-2021 г.), X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (г. Воронеж, Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2019 г.), VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (г. Иваново, ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2019 г.), научно-технических семинарах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии ГПС МЧС России (2017–2021 гг.).

Публикации. Основные научные результаты отражены в 11 публикациях, в том числе 3 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, одной монографии, 5 работах, опубликованных в сборниках научных трудов и материалах международных и всероссийских конференций. Получены 2 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

На защиту выносятся:

– модели конечных автоматов для основных классов устройств защитного отключения в АСПП;

– теоретико-автоматные и вероятностные модели и алгоритмы функционирования УЗО для композиции устройств защитного отключения, входящих в автоматизированную систему предотвращения пожаров, вызванных токами утечки;

– математические зависимости расчета времени наработки на отказ устройств защитного отключения электросетей промышленного объекта;

– алгоритм оценки работоспособного состояния автоматизированной системы предотвращения пожаров при обнаружении токов утечки в электрооборудовании с учетом надежности системы.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 106 наименований, 3-х приложений на 19 страницах. Основное содержание работы изложено на 186 страницах машинописного текста, содержит 54 рисунка и 23 таблицы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ВЬЕТНАМА

1.1. Аналитический обзор пожарной опасности промышленных объектов Вьетнама

Промышленные предприятия Вьетнама являются, как правило, потребителями значительного количества пожаровзрывоопасных газов и жидкостей: водорода, аммиака, пропана, ацетилена, бензина, бензола, керосина, смазочных масел, спиртов и т. д. Применение этих веществ может приводить к образованию горючей среды в результате попадания газов и паров в воздух помещения, заполнения воздухом объема резервуаров по мере их опорожнения, при авариях.

Анализ статистических данных (Таблица 1.1, Рисунки 1.1–1.3) показывает, что ежегодно во Вьетнаме от электротехнических изделий происходит около 1200 пожаров; это составляет 30–40% к общему числу пожаров в стране. Такое же соотношение характерно и для многих промышленно развивающихся стран.

В подавляющем большинстве случаев причинами и обстоятельствами возникновения пожаров от электротехнических изделий являются:

- недостатки конструкций и изготовления,
- несоответствие применяемых материалов и комплектующих,
- несовершенство противопожарных требований,
- низкий уровень эксплуатации и т.п.

На промышленность приходится от 10 до 20 % от общего числа пожаров, происходящих ежегодно во Вьетнаме. Основное количество пожаров на промышленных объектах приходится по так называемым непрофилактируемым причинам, т.е. по вине людей, находящихся в состоянии ограниченной дееспособности (состояние опьянения, психические заболевания, возрастная немощь, детская шалость и т.д.). Что касается людей, находящихся в состоянии полной дееспособности, то их поведение, как правило, не ограничивается каким бы

то ни было контролем за соблюдением правил противопожарного режима, как это происходит на производстве или в общественных местах.

На промышленных объектах гибнет около 10% от общего количества погибших при пожарах. Основной причиной гибели людей при пожарах являются действия продуктов горения (до 76% от общего числа погибших) и высокой температуры (до 19% от общего числа погибших). Основным условием, способствующим гибели людей при пожарах, по-прежнему остается нарушение техники безопасности на производстве. Гибели людей способствует низкий уровень исполнения служебных обязанностей персоналом [16].

Таблица 1.1 – Динамика числа пожаров, гибели людей и ущерба от них во Вьетнаме за период с 2009 по 2020 гг.

| Год | Число пожаров | | | Ущерб от пожаров, Млн донгов | Гибель на пожарах, чел. |
|-------|---------------|--------------------------|--------|------------------------------|-------------------------|
| | Всего | На промышленных объектах | % доля | | |
| 2009 | 1677 | 304 | 18,1 | 303359 | 68 |
| 2010 | 2261 | 332 | 14,7 | 600000 | 90 |
| 2011 | 1956 | 295 | 15,1 | 575000 | 86 |
| 2012 | 1751 | 266 | 15,2 | 634000 | 117 |
| 2013 | 2700 | 320 | 11,9 | 1700000 | 129 |
| 2014 | 2357 | 357 | 15,1 | 1300000 | 90 |
| 2015 | 2792 | 360 | 12,9 | 1498000 | 62 |
| 2016 | 3006 | 389 | 12,9 | 1240000 | 98 |
| 2017 | 4114 | 429 | 10,4 | 2000000 | 119 |
| 2018 | 4075 | 512 | 12,5 | 1700000 | 112 |
| 2019 | 3790 | 302 | 7,96 | 1527200 | 85 |
| 2020 | 2764 | 198 | 7,1 | 932000 | 14 |
| Итого | 33243 | 4064 | 154 | 14009559 | 1070 |

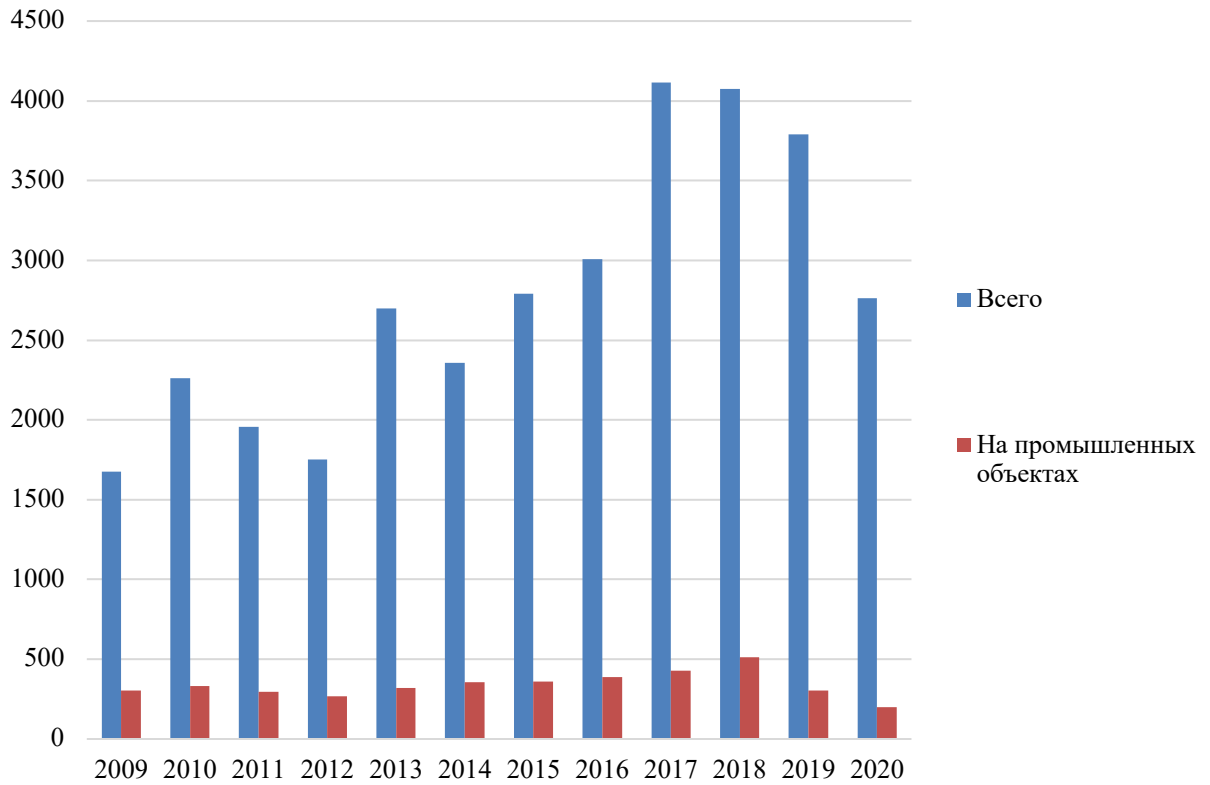


Рисунок 1.1 – Динамика числа пожаров за период с 2009 по 2020 гг.

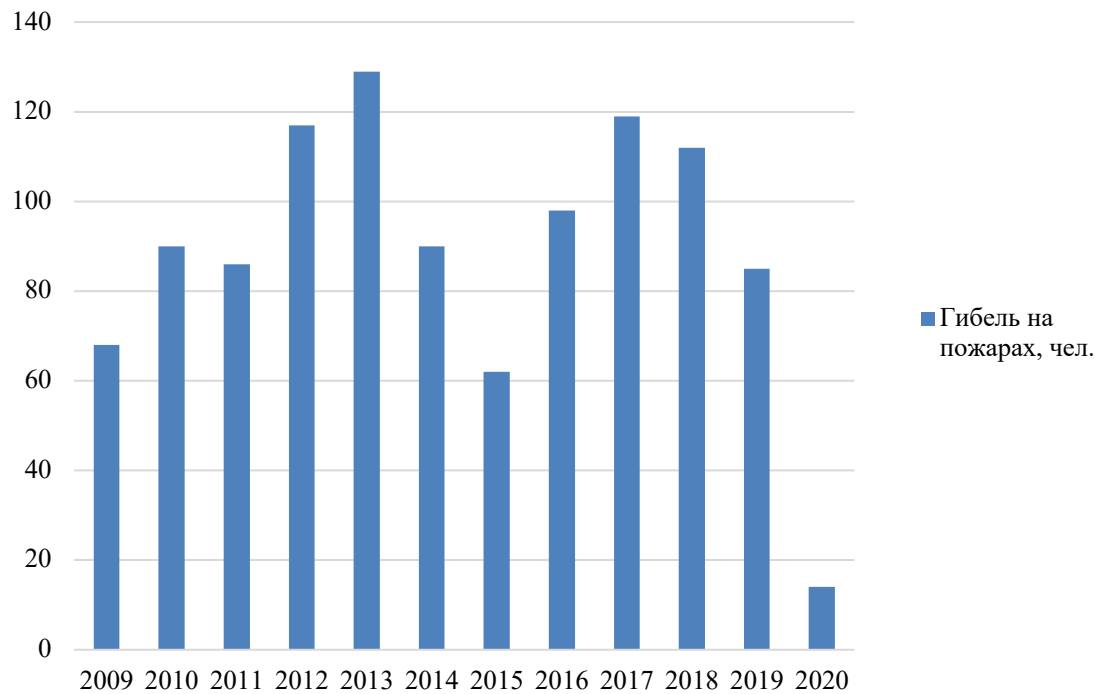


Рисунок 1.2 – Динамика числа погибших во Вьетнаме за период с 2009 по 2020 гг.

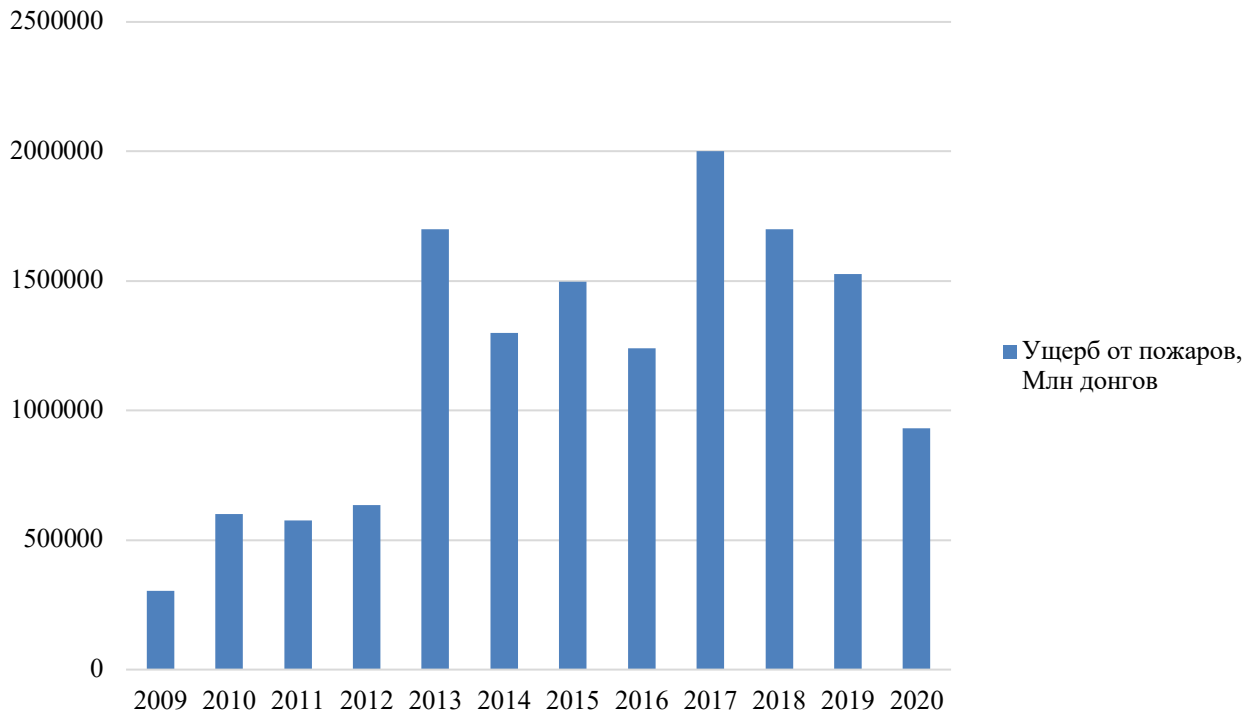


Рисунок 1.3 – Прямой материальный ущерб от пожаров во Вьетнаме за период с 2009 по 2020 гг.

Надежность сложного производственного оборудования и технических средств пожаровзрывобезопасности никогда не может быть абсолютной, поэтому будут продолжаться отказы оборудования, приводящие к взрывам и пожарам, и отказы средств пожаровзрывобезопасности [106].

На современных промышленных предприятиях наблюдается тенденция к увеличению мощности машин производственного технологического оборудования при одновременном уменьшении массы и габаритов с целью максимального использования производственных площадей [41].

Оценка пожарной опасности технологического оборудования требует проведения статистического анализа произошедших на промышленных предприятиях крупных аварий и взрывов, количество которых постоянно возрастает. В Таблице 1.2 приведены статистические данные по крупным авариям промышленных объектов Вьетнама, связанным с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования.

Таблица 1.2 – Крупные аварии на промышленных предприятиях Вьетнама, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования

| Дата | Место возникновения аварии | Причина возникновения аварии | Число погибших, чел. | Число травмированных, чел. | Площадь пожара, м ² |
|------------|---|--|----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 20.02.2009 | Пожар на бумажной заводе New Тоуо в БингЗйонг г. | Короткое замыкание | - | - | 4800 |
| 11.09.2009 | Пожар на химической фабрике в Ханой г. | Короткое замыкание | - | - | 1000 |
| 08.08.2010 | Пожар на складе завода в ДаНанге г. | Короткое замыкание | | | 1500 |
| 11.12.2011 | Пожар на пластической заводе в Бакнинг | Электротехническая причина. | - | 1 | 3000 |
| 05.05.2012 | Пожар на фабрике компании Тхуа Ван в Фу Тхо г. | Короткое замыкание | - | - | 950 |
| 05.01.2013 | Пожар на телефонном фабрике компании в Бакнинг г. | Короткое замыкание | - | - | 2500 |
| 14.10.2014 | Пожар на окрасочном складе компании Ниппон в Ханое г. | Короткое замыкание | - | - | 1200 |
| 03.01.2015 | Пожар на пластической заводе в Лонгане г. | Электротехническая причина | - | - | 500 |
| 19.01.2016 | Пожар на окрасочном складе компании в БингЗйонг г. | Короткое замыкание | - | 3 | 2300 |
| 16.03.2016 | Пожар на химической фабрике в БингЗйонг г. | Нарушение технологического процесса. Электротехническая причина | - | 4 | 1400 |
| 26.03.2017 | Пожар на швейной компании в Кантхо г. | Короткое замыкание | - | - | 4500 |
| 14.06.2018 | Пожар на на заводе Yakjin | Нарушение технологического процесса. Электротехническая причина | - | - | 21000 |
| 04.04.2018 | Пожар на на заводе Texhong НганЛонг | Нарушение технологического процесса. Электротехническая причина | - | - | 8500 |
| 12.04.2019 | Пожар на на заводе по производству пластиковых мусорных баков Экологической компании 79 | Короткое замыкание | 8 | - | 970 |
| 28.08.2019 | Пожар на Ламповом заводе ЗангДонь | Короткое замыкание | - | - | 6000 |
| 26.8.2020 | Пожар на складе Southern SunHouse | Короткое замыкание | - | - | 4000 |

1.2. Анализ состояния пожарной безопасности электрооборудования Вьетнама

Как показывают результаты анализа, в подавляющем большинстве случаев причинами пожарной опасности электрических изделий являются: несовершенство противопожарных требований; несоответствие применяемой электротехнической продукции, материалов и комплектующих комплексным требованиям пожарной безопасности; низкий уровень эксплуатации. Анализ содержит некоторые статистические сведения об оперативной обстановке с пожарами в стране и, в первую очередь, о пожарной опасности электрических изделий, которые могут быть полезны специалистам для обоснования актуальности и выбора направлений исследований по разработке пожарно-профилактических мероприятий на объектах, в том числе по обеспечению пожарной безопасности кабельных и др. видов электрических изделий [18].

Одной из особенностей промышленных предприятий является наличие большого количества электрооборудования, создающего опасность возникновения крупных аварий, сопровождающихся пожарами и взрывами.

В Таблице 1.3 приведены статистические данные о пожарах от электрооборудования Вьетнама за период с 2009 по 2020 гг. [16–18] (Рисунок 1.4 -1.5).

Таблица 1.3 – Статистические данные о пожарах от электрооборудования

| Год | Общее число пожаров | | | Число пожаров на промышленных объектах | | |
|------|---------------------|-------------------------|--------|--|-------------------------|--------|
| | Всего | От электро-оборудования | % доля | Всего | От электро-оборудования | % доля |
| 2009 | 1677 | 529 | 31,5 | 304 | 116 | 70 |
| 2010 | 2261 | 669 | 29,6 | 332 | 229 | 69 |
| 2011 | 1956 | 634 | 32,4 | 295 | 177 | 60 |
| 2012 | 1751 | 588 | 33,6 | 266 | 186 | 70 |

Продолжение таблицы 1.3

| | | | | | | |
|------|------|------|------|-----|-----|------|
| 2013 | 2700 | 953 | 35,3 | 320 | 224 | 70 |
| 2014 | 2357 | 775 | 32,9 | 357 | 268 | 75 |
| 2015 | 2792 | 863 | 30,9 | 360 | 259 | 72 |
| 2016 | 3006 | 932 | 31,0 | 389 | 272 | 70 |
| 2017 | 4114 | 1629 | 39,6 | 429 | 279 | 65 |
| 2018 | 4075 | 1907 | 46,8 | 512 | 301 | 58,7 |
| 2019 | 3790 | 1682 | 44,4 | 302 | 175 | 57,4 |
| 2020 | 2764 | 1201 | 43,5 | 198 | 92 | 46,5 |

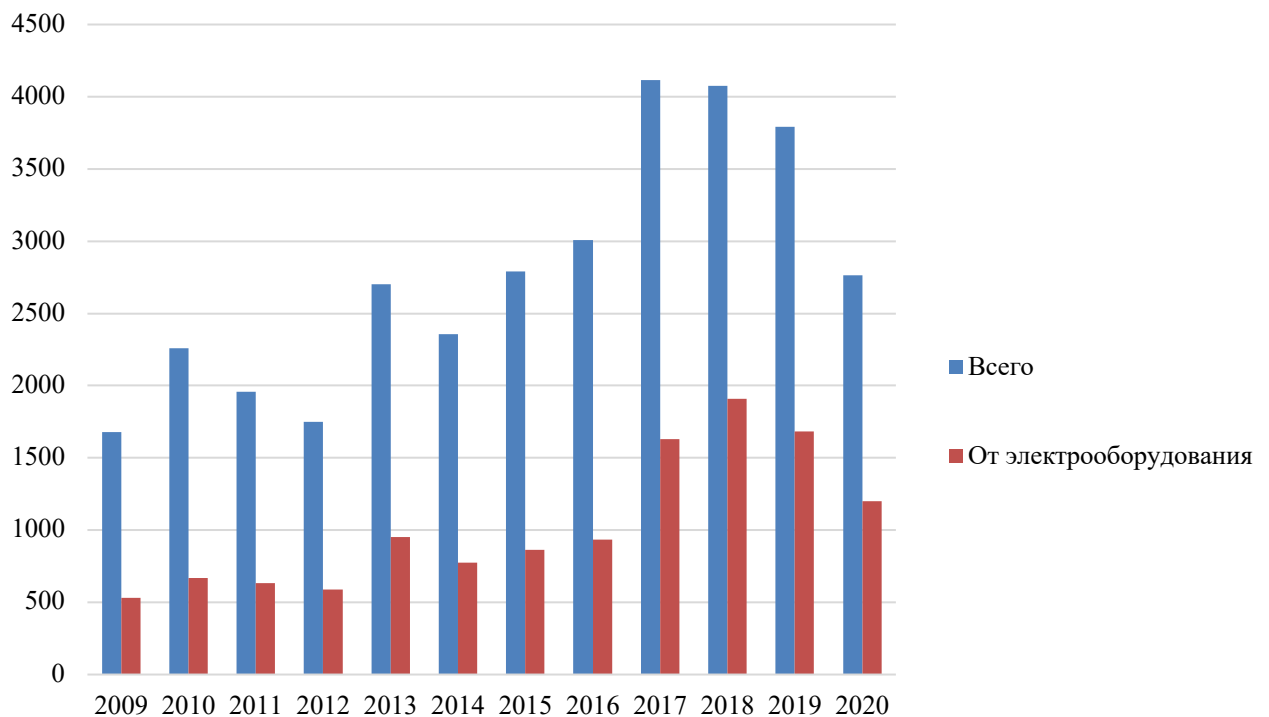


Рисунок 1.4 – Пожары от электрооборудования в период с 2009 по 2020 гг.

От электрических изделий на промышленных объектах Вьетнама в период с 2009 по 2020 г. произошло 12362 пожара (37% к общему числу пожаров), на которых погибло 120 чел. (11,7%); прямой ущерб составил 22 миллиард рублей (57 %).

Причины этого уменьшения, как и любые разовые колебания статических данных не могут иметь корректного и однозначного объяснения. Можно высказать лишь предположения. Несомненно, важную роль играют меры по усилению контроля качества и безопасности изделий со стороны надзорных органов, испытательных центров и органов по сертификации в соответствии с «Законом о защите прав потребителей». В условиях рыночной конкуренции разработчики и изготовители изделий вынуждены прилагать усилия по улучшению качества своей продукции [19]. Не исключено и влияние весьма очевидного, к сожалению, в нынешней экономике явления – снижение объёма выпуска изделий.

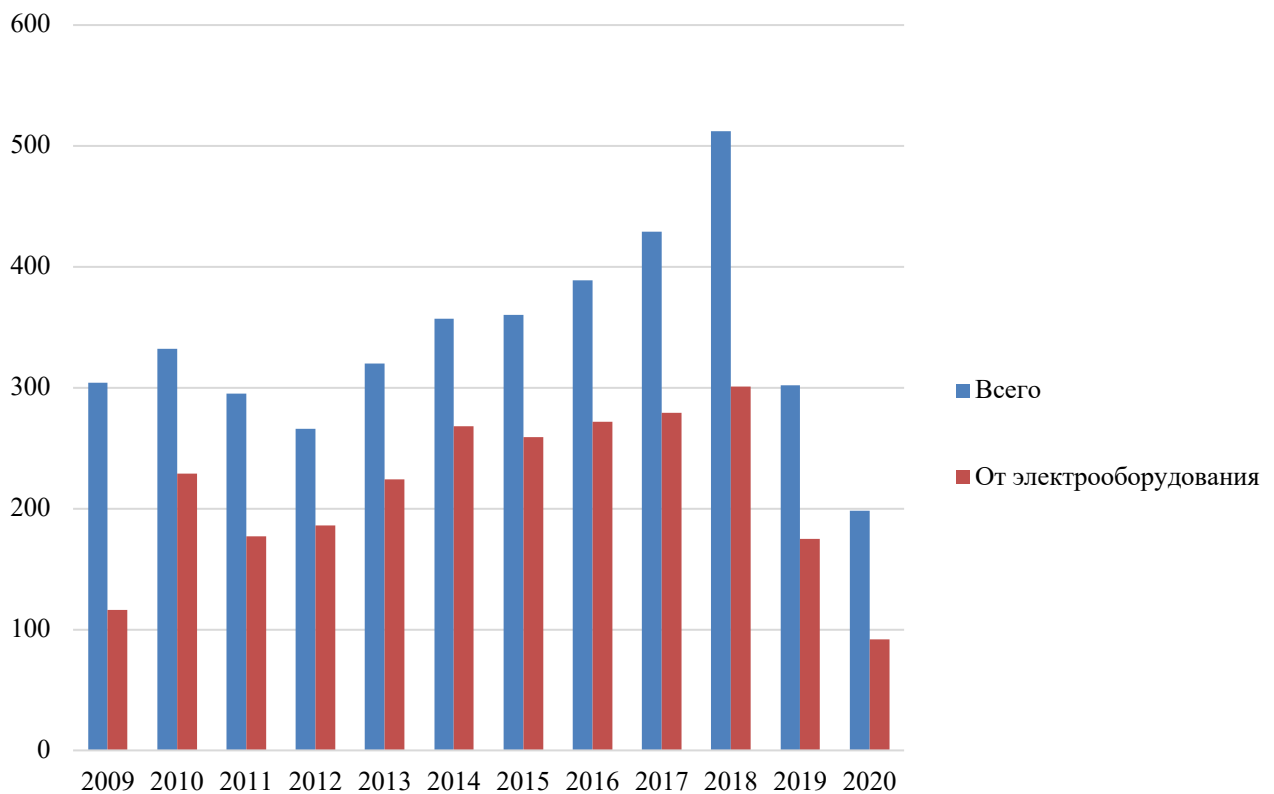


Рисунок 1.5 – Пожары от электрооборудования на промышленных объектах
в период с 2009 по 2020 гг.

По видам электротехнической продукции (Таблица 1.4, Рисунок 1.6) первое место по числу пожаров с большим опережением занимают изделия кабельной промышленности – провода и кабели.

Таблица 1.4 – Среднестатистические данные по пожарам от электрических изделий (2009 – 2020 гг.)

| Вид электроизделия | Число пожаров | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Автоматический выключатель | 7 | 8 | 6 | 10 | 18 | 5 | 13 | 16 | 25 | 19 | 20 | 22 |
| Электрораспределительный щит, счетчик | 36 | 40 | 31 | 33 | 46 | 35 | 36 | 30 | 22 | 30 | 25 | 50 |
| Выключатель, вилка, розетка | 47 | 51 | 45 | 45 | 72 | 50 | 61 | 33 | 103 | 150 | 180 | 200 |
| Электродвигатель | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 | 2 | 3 | 1 | 4 | 8 | 10 | 7 |
| Электроосветительный прибор | 23 | 25 | 20 | 21 | 55 | 42 | 28 | 53 | 67 | 125 | 135 | 155 |
| Кабель, провод | 309 | 430 | 424 | 371 | 640 | 523 | 642 | 652 | 1282 | 1414 | 1145 | 644 |
| ЭВМ | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 5 | 3 | 5 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| Трансформатор | 9 | 10 | 8 | 9 | 9 | 6 | 7 | 11 | 9 | 6 | 10 | 7 |
| Бытовой электронагревательный прибор | 34 | 35 | 31 | 33 | 50 | 43 | 41 | 60 | 55 | 95 | 85 | 40 |
| Холодильник | 8 | 9 | 7 | 7 | 6 | 5 | 2 | 10 | 15 | 11 | 4 | 5 |
| Кондиционер | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 14 | 18 |
| Телевизор | 34 | 35 | 33 | 34 | 34 | 30 | 5 | 32 | 30 | 15 | 18 | 6 |
| Электрический утюг | 6 | 7 | 5 | 6 | 6 | 10 | 11 | 13 | 3 | 7 | 10 | 17 |
| Прочие изделия | 8 | 10 | 12 | 8 | 8 | 15 | 9 | 11 | 10 | 23 | 24 | 30 |
| Итого | 529 | 669 | 634 | 588 | 953 | 775 | 863 | 932 | 1629 | 1907 | 1682 | 1201 |

При этом, хотя эти виды кабельных изделий находятся в одной строке, число пожаров от кабелей в 20–30 раз меньше, чем от проводов. Это связано, во-первых, с тем, что протяженность электропроводок на любом объекте в десятки и сотни раз превышает длину кабельных линий, а чем больше длина, тем выше вероятность повреждения, а, следовательно, и вероятность возникновения пожара; во-вторых, с

более жесткими требованиями к проектированию, монтажу и эксплуатации кабельных линий по сравнению с электропроводками; и, в-третьих, с наличием в жилом секторе большого количества самодельных, не контролируемых специалистами, пожароопасных электропроводок.



Рисунок 1.6 – Диаграмма распределения числа пожаров от электротехнических изделий за период с 2009 по 2020 гг.

Статистические данные дают возможность оценить пожарную опасность каждого вида электротехнических изделий по трём показателям (контролируемым параметрам): числу пожаров, наносимому пожаром ущербу и числу погибших на пожаре людей [106]. Представляется перспективной попытка дать интегральный показатель, который учитывал бы все эти три показателя одновременно и, таким

образом, более объективно характеризовал бы пожарную опасность изделий. Исходные данные и результаты обработки статистических материалов представлены в Таблице 1.5, на Рисунке 1.7.

Таблица 1.5 – Данные и результаты оценки коэффициента значимости пожарной опасности электрических изделий (2009 – 2020 гг.)

| Изделия | Ранг (место) по числу пожаров R_n | Ранг (место) по размеру ущерба R_y | Ранг (место) по числу погибших R_r | Сумма рангов S_i | Коэффициент значимости пожарной опасности K_i | Ранг пожарной опасности изделия |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| Кабель, провод | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Электрокамин | 2 | 3 | 2 | 7 | 0,43 | 2 |
| Вводной щит | 3 | 2 | 6 | 11 | 0,27 | 3 |
| Выключатель | 4 | 4 | 5 | 13 | 0,23 | 4 |
| Телевизор | 5 | 6 | 4 | 15 | 0,2 | 5 |
| Холодильник | 6 | 5 | 8 | 19 | 0,16 | 7 |
| Электроплитка | 7 | 8 | 3 | 18 | 1,17 | 6 |
| Электросветильник | 8 | 7 | 7 | 22 | 0,13 | 8 |
| Трансформатор | 9 | 11 | 9 | 29 | 0,1 | 9 |
| Электробытовая машина | 10 | 14 | 11 | 35 | 0,08 | 11 |
| Автовыключатель, УЗО | 11 | 13 | 11 | 35 | 0,08 | 11 |
| Электрорзвонок | 12 | 17 | 13 | 42 | 0,07 | 12 |
| Электродвигатель | 13 | 10 | 10 | 33 | 0,09 | 10 |
| Магнитофон, радиоприёмник | 14 | 16 | 12 | 42 | 0,07 | 12 |
| ЭВМ | 15 | 9 | 14 | 38 | 0,08 | 11 |
| Электроутюг | 16 | 15 | 12 | 43 | 0,07 | 12 |
| Крондиционер | 17 | 12 | 14 | 43 | 0,07 | 12 |
| Видеомагнитофон | 18 | 18 | 15 | 51 | 0,06 | 13 |

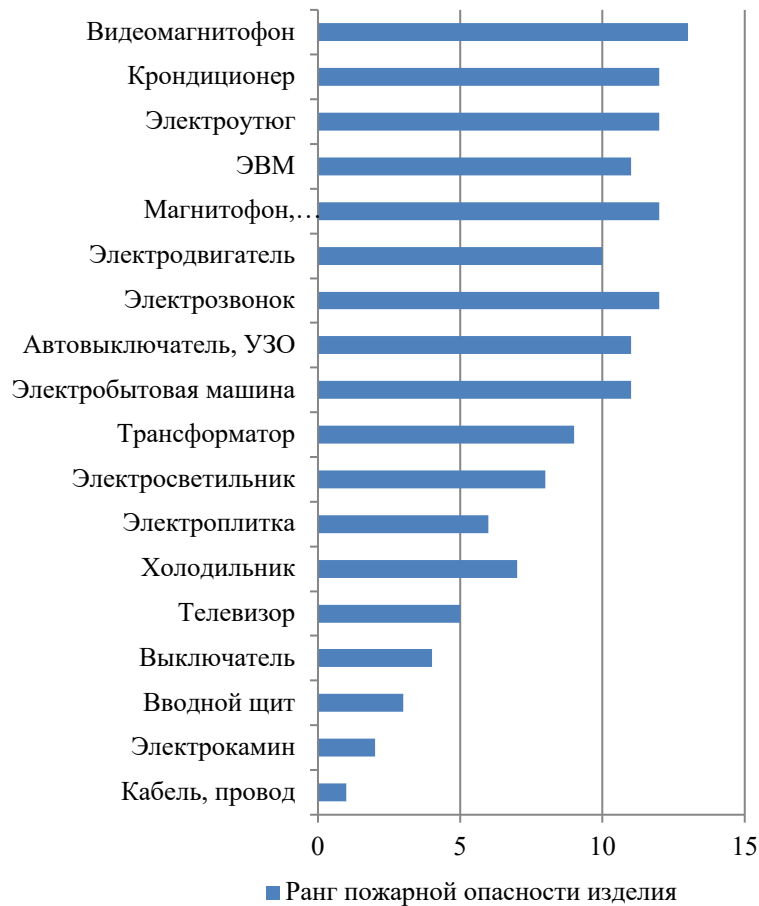


Рисунок 1.7 – Данные и результаты оценки коэффициента значимости пожарной опасности электрических изделий (2009–2020 гг.)

Коэффициент значимости пожарной опасности каждого вида изделий K_i рассчитывался по сумме рангов (мест), которые это изделие занимает в ранжированном, в порядке уменьшения показателя, ряду по количеству пожаров (R_n), наносимому пожаром ущерб (R_y) и числу погибших (R_r):

$$K_i = S_l / S_i , \quad (1.1)$$

где $S_i = R_n + R_y + R_r$ – сумма рангов i -ого изделия;

S_l – сумма рангов наиболее пожароопасного изделия.

Среди причин пожаров применительно к электроустановкам: недостатки конструкции и изготовления; нарушение правил монтажа; нарушение правил технической эксплуатации и несоблюдение правил пожарной безопасности при эксплуатации (Таблица 1.6). Обычно эти причины называют “юридическими”,

поскольку, в случае возбуждения уголовного дела по факту пожара, следователи часто начинают расследование с проверки этих версий. При более внимательном рассмотрении эти причины фактически отражают лишь обстоятельства, способствующие возникновению пожара. При этом точность этих данных вряд ли может быть высокой, т. к. даже очень опытный криминалист по результатам исследования повреждённых огнём на пожаре электрических изделий не может точно установить, что же привело к пожару: «нарушение правил технической эксплуатации» или «несоблюдение правил пожарной безопасности при эксплуатации изделия» [106].

Таблица 1.6 – Причины пожаров на промышленных объектах Вьетнама (2009–2020 гг.)

| По статисткам | |
|--|---|
| Недостатки конструкции и изготовления | Нарушение правил технической эксплуатации |
| Нарушение правил монтажа | Нарушение ППБ при эксплуатации |
| Причины пожаров и характерные источники зажигания | |
| <i>Причины пожаров</i> | <i>Источник зажигания</i> |
| Короткое замыкание | Дуговой, искровой и др. виды электрических разрядов (далее – электрические разряды); раскалённые (горящие) частицы и капли металла при разрушении в аварийных режимах токопроводящих жил проводов (кабелей), аппаратов защиты электроприборов, защитных оболочек труб, корпусов и т. п. (далее – частицы металла) |
| Перегрузка | Нагретые выше допустимой температуры поверхности электрорадиоэлементов, проводов аппаратов (нагретые поверхности) |
| Переходное сопротивление | Нагретые поверхности |
| Снижение эффективности теплоотвода | Нагретые поверхности; |
| | Электрические разряды; |
| | Частицы металла |
| Снижение эффективности теплоотвода | Электрические разряды; |
| | Нагретые поверхности; |
| | Коммутационные искры и дуги; |
| | Частицы металла |

Для специалистов, занимающихся обеспечением пожарной безопасности электросетей и электроизделий, конечно, большую ценность имели бы данные об

аварийных режимах (КЗ, перегрузка, «плохой» контакт и др., Таблица 1.7), а также физико-химических явлениях, непосредственно приведших к возгоранию электроустановок. Однако такие данные в статистике отсутствуют. В связи с этим в диссертации приведены некоторые статистические данные фирм Вьетнама по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей по отказам, в том числе пожароопасным, произошедшим в кабельных линиях и электропроводках на электростанциях и в электросетях [10].

Таблица 1.7 – Среднестатистические данные по отказам (авариям) кабельных энергетических линий в период (2009 – 2020 гг.)

| Энергопредприятие | Элемент линии | Количество отказов кабельных линий | | | |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | | при электрическом пробое | | при механическом повреждении | |
| | | кол-во | % | кол-во | % |
| Электростанции | Кабели | 57 | 62,6 | 6 | 100 |
| | Соединительные муфты | 9 | 9,9 | - | - |
| | Концевые заделки | 17 | 18,7 | - | - |
| | Концевые муфты наружной установки | 8 | 8,8 | - | - |
| | ИТОГО | 91 | 100 | 6 | 100 |
| Электросеть | Кабели | 2224 | 56 | 2297 | 99,86 |
| | Соединительные муфты | 829 | 21,05 | 3 | 0,14 |
| | Концевые заделки | 579 | 14,7 | – | - |
| | Концевые муфты наружной установки | 304 | 7,72 | – | - |
| | Подпитывающее устройство | 1 | 0,03 | – | - |
| | ИТОГО | 3937 | 100 | 2300 | 100 |

Из анализа данных Таблицы 1.6 на промышленных предприятиях в электросетях наибольшее число пожаров приходится на кабели.

Практика эксплуатации кабельных линий свидетельствует о том, что основными причинами возникновения аварийных ситуаций являются (Таблица 1.8):

– процессы старения изоляционных материалов кабелей [41];

- скрытые заводские дефекты кабелей и дефекты, полученные ими при монтаже;
- недостатки нормирования и проектирования, не учитывающие реальных условий работы электросетей, а также ошибки при их монтаже и эксплуатации.

Таблица 1.8 – Среднестатистические причины пробоя изоляции при отказах (авариях) кабельных энергетических линий Вьетнама в период (2009 – 2020 гг.)

| Причины пробоя | Количество отказов кабельных линий | |
|--|------------------------------------|------------|
| | количество | % |
| Недостатки эксплуатации | 113 | 2,9 |
| Дефекты монтажа муфт | 994 | 25,3 |
| Дефекты прокладки кабелей | 411 | 10,3 |
| Недостатки проектирования | 1 | 0,1 |
| Дефекты конструкции и изготовления | 92 | 2,3 |
| Изменение свойств материалов в процессе эксплуатации | 1203 | 30,6 |
| Влияние климатических и атмосферных условий | 128 | 3,3 |
| Нерасчётные режимы в электросети | 31 | 0,8 |
| Посторонние воздействия | 760 | 19,3 |
| Причина не установлена | 204 | 5,1 |
| ИТОГО | 3937 | 100 |

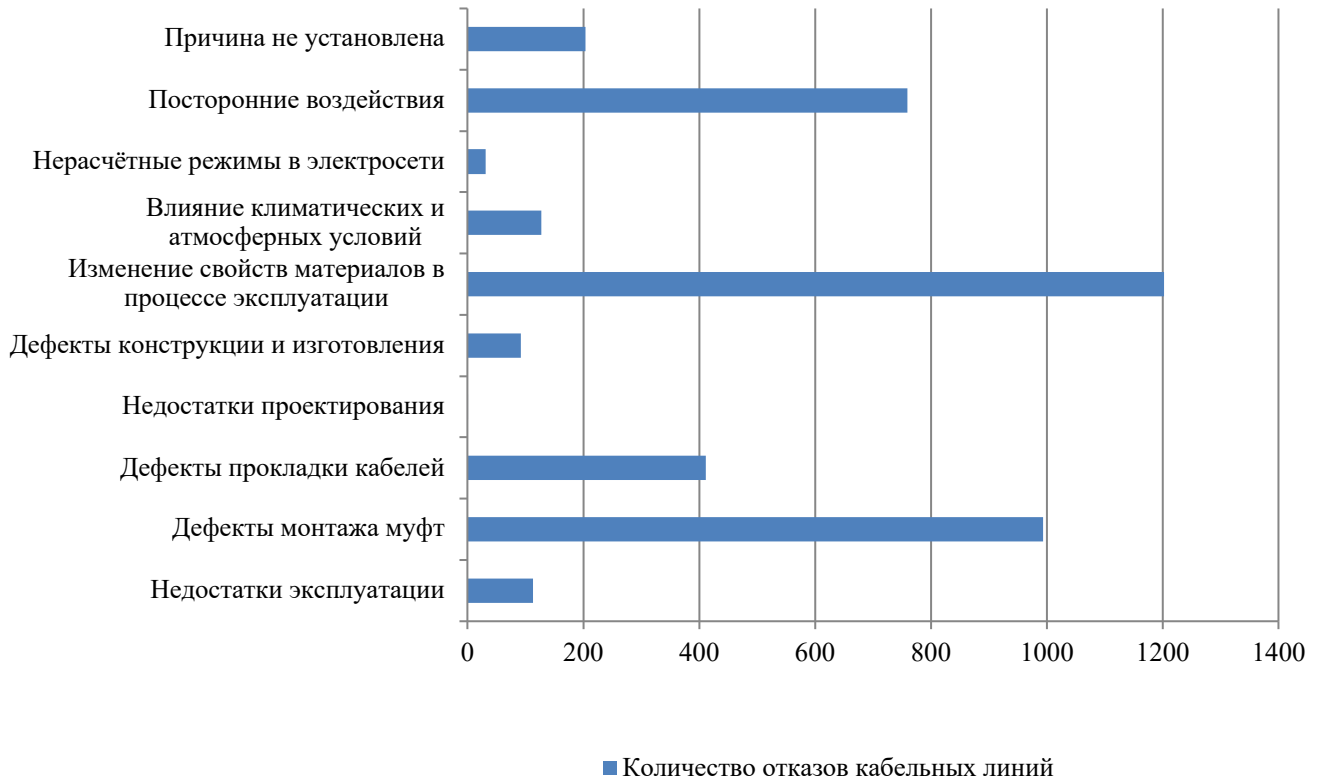


Рисунок 1.8 – Среднестатистические причины пробоя изоляции при отказах (авариях) кабельных энергетических линий Вьетнама в период (2009 – 2020 гг.)

Небронированные кабели с алюминиевой оболочкой при повреждении защитного шланга и коррозии алюминиевой оболочки выходят из строя в первые 15 лет, а основная доля отказов кабелей при старении изоляции приходится на период, превышающий их 15-летний срок эксплуатации [10].

Скрытые дефекты в кабелях могут быть, например, из-за неплотной намотки бумажных лент, наличия складок, неудовлетворительной пропитки изоляции.

Наиболее уязвимым местом в кабельных линиях являются соединительные муфты широкого назначения, выполненные из различных материалов, и концевые заделки.

Отказы муфт и концевых заделок происходят в основном по следующим причинам:

- несвоевременность контроля электрических параметров при эксплуатации;
- дефекты монтажа и конструкций;
- изменение свойств материалов в процессе эксплуатации из-за старения, перегрузки и других аварийных режимов в сети.

Основными аварийными режимами, приводящими к возникновению загораний кабелей, являются режимы сверхтоков, которые могут иметь место при коротких замыканиях (КЗ) или перегрузках, при этом сверхтоки могут привести к загоранию, в основном, силовых и высоковольтных кабелей, поскольку выделяемая при КЗ или перегрузке энергия достаточна для возникновения процесса пиролиза электроизоляционных материалов и последующего их зажигания. Нередкими являются и случаи загорания кабельных изделий от занесения внешних источников огня.

Таким образом, на основе выполненного анализа статистических данных было установлено следующее:

- наиболее опасный вид электроустановок – электропроводки и кабельные линии;
- объекты, которые чаще всего подвергаются пожарам от электроустановок, и, в частности, от загорания электропроводок, – жилые дома, склады, базы, предприятия торговли и общественного питания (т. е. те объекты, на которых максимально сконцентрированы жизненно важные продовольственные и материальные ресурсы и уничтожение которых огнём непосредственно и наиболее быстро сказывается на благосостоянии и жизненном уровне народа);
- самые опасные виды аварийных режимов электросетей, создающие наибольшую вероятность возникновения пожаров, – короткие замыкания и перегрузки.

1.3. Анализ пожарной опасности электрооборудования промышленных объектов Вьетнама

1.3.1. Анализ пожарной безопасности изоляции проводов электрооборудования

При предаварийном режиме возможно возгорание изоляции проводов и кабельных линий от теплового проявления электрического тока.

Результаты исследования ВНИИПО МЧС России [106] показывают, что температура, при которой начинается размягчение наружной оболочки, является критической точкой начала потери материалом оболочки механической прочности. Для кабелей с оболочками из ПВХ (в том числе с маркировкой «НГ») и резины она составляет 120 °С, для полиэтилена (в том числе «самозатухающего» и «сшитого») – 104–108 °С, для импортных кабелей из ПВХ и полиэтилена – 180 °С.

Результаты исследований [62] показали, что вертикальное расположение испытуемого образца и зажигание его снизу способствует наиболее полному выявлению свойств горючести материала, так как в этом случае наибольшая часть тепла, выделенного в результате горения, принимает участие в подготовке очередных участков образца к горению.

Испытания ВНИИПО МЧС России [106] показали, что в процессе старения у кабельных изделий с резиновой изоляцией улучшается показатель нераспространения горения. Кабели и провода с изоляцией или оболочкой из ПВХ (одиночные) вне зависимости от срока эксплуатации не распространяют горение. При наличии оболочки из полиэтилена ПППВ или сочетании резиновой изоляции с оплеткой из хлопчатобумажной пряжи с противогнилостным составом пропитки АПР, ПР наблюдается процесс устойчивого распространения горения вне зависимости от срока эксплуатации проводов и кабельных изделий.

Из анализа «характеристики огнестойких электрических кабелей» [10] видно, что условия их испытаний определяют только свойства жил кабелей.

Из результатов ВНИИПО МЧС России [106] следует, что не существует «несгораемых» кабелей с органической изоляцией.

Результатами исследований открытых электропроводок [65] в винилпластовых трубах является то, что с увеличением диаметра трубы и сечения проводов увеличиваются их горючесть и огнестойкость (время до момента пробоя изоляции токоведущих жил), что подтверждается увеличением количества выделяющихся горючих газов и увеличением теплоотвода жилами большого сечения.

Как показано в [106], вероятность возникновения короткого замыкания провода на стальную трубу намного выше по сравнению с вероятностью возникновения короткого замыкания в электропроводке, выполненной кабелем.

1.3.2. Анализ процессов, происходящих в предаварийном режиме работы электрооборудования

Процессы, протекающие в изоляции под действием электрического поля, являются предметом исследования многих ученых. Эти процессы зависят в решающей степени от свойств диэлектрика, из которого выполнена изоляция. Вследствие взаимодействия внешнего переменного электрического поля с веществом диэлектрика возникают диэлектрические потери [67], которые количественно оцениваются величиной тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta$).

Негативное явление на изоляцию проводов оказывают воздушные пузырьки и пленки. Присутствие диэлектрических потерь в изоляции обусловлена электропроводностью, поляризацией и ионизацией газовых включений. Эти процессы зависят от величины рабочего напряжения и частоты электромагнитных колебаний:

$$P = U_{из}^2 \cdot w \cdot C \cdot tg\delta, \quad (1.2)$$

где $U_{из}$ – рабочее напряжение, приложенное к изоляции, В;

w – угловая частота, Гц;

C – электрическая емкость изделия, Ф.

Угловая частота определяется по формуле:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (1.3)$$

где f – частота колебаний электрического поля, Гц.

Процесс ионизации газовых включений сильно влияет на диэлектрик, убыстряя старение изоляции. Причиной этого является сильное окисление под действием озона, выделяющегося в процессе ионизации. При этом вещество изоляции разрушается, считается [67], что влияние изоляции становится равным нулю и происходит короткое замыкание проводов, сопровождающееся резким увеличением электрического тока. Происходит пробой изоляции, который выводит кабель из строя.

Переменное магнитное поле, вызываемое переменным электрическим полем, наводит вихревые токи, взаимодействие которых с основным током в жилах приводит к перераспределению плотности тока в проводниках. Этот процесс лежит в основе поверхностного эффекта и эффекта близости, которые характеризуются формулой:

$$k_t \cdot R_{\text{ж}} = \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \delta}, \quad (1.4)$$

где k_t – коэффициент вихревых токов, $k_t = \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \delta}$;

μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, Гс·м⁻¹;

δ – удельная электрическая проводимость, См·м⁻¹;

$R_{\text{ж}}$ – радиус токопроводящей жилы, м;

d – диаметр токопроводящей жилы, м.

Вышеперечисленные эффекты зависят от $k_t \cdot R_{\text{ж}}$, чем больше это равенство, тем сильнее эффекты.

При совместной прокладке двухжильных и многожильных проводов, при взаимодействии магнитных полей жил возникают механические усилия, которые

заметны при коротком замыкании в проводах большого сечения с небольшим слоем изоляции между жилами. Это приводит к деформации элементов провода [106].

1.3.3. Тепловое действие, возникающее в предаварийном режиме работы электрооборудования

Предаварийные режимы работы электрооборудования характеризуются прежде всего быстрым ростом температуры как в электрооборудовании, так и на расстоянии от него в кабельных линиях из-за протекания тока. Теплота, которая выделяется при протекании электрического тока, является критерием пожарной опасности. Она приводит к нагреву веществ и материалов (электрической изоляции), что предопределяет возможность возникновения пожара. Быстрота протекающего процесса ведет к проявлению динамического действия, в том числе обусловленного тепловым расширением веществ и материалов при протекании электрического тока, выбросу раскаленных частиц на значительные расстояния.

Тепловой эффект [28] действия электрического тока определен законом Джоуля – Ленца и обычно выражается формулой:

$$dQ = R \cdot I^2 \cdot dt. \quad (1.5)$$

Также энергия, выделяемая на сопротивление исходя из напряжения, может быть определена по закону Джоуля – Ленца:

$$dQ = \frac{U_c^2}{R} dt, \quad (1.6)$$

где U_c – напряжение сети, В.

В исследованиях [47] тепловой эффект действия электрического тока представлен в следующем виде:

$$dQ = R \int_0^{\tau} I^2 \cdot dt. \quad (1.7)$$

Это выражение допустимо лишь при постоянном значении сопротивления $R = \text{const}$. Однако в предаварийном режиме работы сопротивление меняется, исходя из этого, формула приобретает следующий вид:

$$dQ = \int_0^{\tau} R \cdot I^2 \cdot dt. \quad (1.8)$$

Лишь в случае, когда напряжение в сети постоянно $U = \text{const}$, выражение имеет вид (1.8) и позволяет определить функциональную зависимость энергии от сопротивления, в котором эта энергия выделяется:

$$dQ = U^2 \cdot \int_0^{\tau} \frac{dt}{R}. \quad (1.9)$$

При переходном сопротивлении теплота выделяется в месте неплотного контакта цепи. При перегрузке теплота выделяется по всей длине электропроводки. При коротком замыкании теплота выделяется в месте образования, не предусмотренном нормальным режимом эксплуатации цепи.

Таким образом, пожарная опасность предаварийных режимов зависит от величины аварийного сопротивления. Поэтому предаварийные процессы могут быть описаны единой моделью изменения – изменением электрического сопротивления существующей или вновь образованной цепи. Значение сопротивления влияет не только на величину тепловыделения и его длительность, но и на механизм зажигания изоляции электропроводок.

Исходя из того, что напряжение сети и температура воспламенения изоляции известны, по величине тепловыделения можно определить критические сопротивления и пределы зажигания изоляции. Для каждого типа изоляции может быть определен ток утечки, при котором происходит пробой изоляции, так как после потери диэлектрической прочности, в силу происходящих физико-химических процессов, сопротивление в месте пробоя (место переходного сопротивления-контакта) уменьшается, минимальная величина сопротивления может приниматься как для неизолированных проводов [55].

Режим короткого замыкания отличается тем, что в начальный момент возникновения предаварийного режима сопротивление создаваемой предаварийной цепи изменяется, соответственно изменяется и значение тока короткого замыкания. С возникновением электрической дуги и ионизацией газового промежутка процесс нарастания тока прекращается, а режим короткого замыкания приобретает стабильный характер.

1.4. Анализ методов оценки пожарной опасности электрооборудования

1.4.1. Анализ устройств обнаружения токов утечки и короткого замыкания в электрооборудовании

Оценка пожарной опасности электрооборудования, в зависимости от его вида и назначения, производится путем определения одного или совокупности следующих показателей [106]:

- вероятность возникновения пожара;
- энергетические характеристики возможных источников зажигания (энергия, мощность, тепловой поток, теплонапряжение, максимальные температуры и т. д.), действующих на электрооборудование;
- горючести, огнестойкости, скорости распространения пламени;
- дымообразующей способности и токсичности продуктов горения электроизоляционных и конструкционных материалов.

Результатом действия электрического тока являются:

- поражение человека;
- возникновение пожаров.

Наиболее часто на промышленных объектах Вьетнама применяются аппараты защиты, представленные в Таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Технические показатели электрических аппаратов защиты электросетей на промышленных объектах Вьетнама

| Технические показатели устройства защитного отключения производителя «Schneider Electric RCBO» | | | | | | | |
|---|--|---|--|---------------------------|--|---------------------------|-----------------------------|
| № п/п | Название устройства | Электрическая износостойкость, час | Механическая износостойкость, час | Количество полюсов | Отключающая способность при коротком замыкании, А | Номинальный ток, А | Номин. ток утечки, А |
| 1 | АСТІ 9 УЗО ІІД 4П 25А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 4 | 10 | 25 | 0.03 |
| 2 | АСТІ 9 УЗО ІІД 2П 25А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 25 | 0.03 |
| 3 | ДЕКРАФТ УЗО 2Р 16А 30МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 16 | 0.03 |
| 4 | EASY 9 УЗО 2Р 25А 30МА АС | 10000 | 20000 | 2 | 4.5 | 25 | 0.03 |
| 5 | АСТІ 9 УЗО ІІД 2П 40А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 40 | 0.03 |
| 6 | ДЕКРАФТ АВДТ без встр. защ. от сверх. УЗО- 3 | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 7 | АСТІ 9 УЗО ІІД К 4П 25А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 4 | 10 | 25 | 0.03 |
| 8 | ДЕКРАФТ УЗО 2Р 40А 30МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 40 | 0.03 |
| 9 | ДЕКРАФТ УЗО 2Р 63А 300МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 63 | 0.3 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|----|--|-------|-------|---|-----|----|------|
| 10 | ДЕКРАФТ АВДТ без встр. защ. от сверх. УЗО- 3 | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 16 | 0.01 |
| 11 | АСТІ 9 УЗО ІІД 4П 40А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 4 | 10 | 40 | 0.03 |
| 12 | EASY 9 УЗО 2P 40A 30MA AC | 10000 | 20000 | 2 | 4.5 | 40 | 0.03 |
| 13 | ДЕКРАФТ УЗО 4P 25A 300МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 4 | 6 | 25 | 0.3 |
| 14 | АСТІ 9 УЗО ІІД К 4П 40А 30МА АС-ТИП | 15000 | 20000 | 4 | 10 | 40 | 0.03 |
| 15 | АСТІ 9 УЗО ІІД К 2П 25А 30МА АС-ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 25 | 0.03 |
| 16 | АСТІ 9 УЗО ІІД 4П 63А 30МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 4 | 10 | 63 | 0.03 |
| 17 | ДЕКРАФТ УЗО 2P 25A 10МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 2 | 6 | 25 | 0.01 |
| 18 | АСТІ 9 УЗО ІІД К 2П 40А 30МА АС-ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 40 | 0.03 |
| 19 | АСТІ 9 УЗО ІІД 2П 63А 300МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 63 | 0.3 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|---|----|----|------|
| 20 | DEKRAFT УЗО 4Р 63А 30МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 4 | 6 | 63 | 0.03 |
| 21 | АСТІ 9 УЗО ІІД 2П 25А 300МА АС- ТИП | 15000 | 20000 | 2 | 10 | 25 | 0.3 |
| 22 | DEKRAFT УЗО 4Р 63А 300МА АС УЗО-03 6КА | 10000 | 20000 | 4 | 6 | 63 | 0.3 |
| Технические показатели устройства защитного отключения производителя SINO ELECTRIC (RCCB) | | | | | | | |
| 23 | VLL45N/ 2016/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 16 | 0.03 |
| 24 | VLL45N/ 2020/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 20 | 0.03 |
| 25 | VLL45N/ 2025/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 25 | 0.03 |
| 26 | VLL45N/ 2032/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 32 | 0.03 |
| 27 | VLL45N/ 2040/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 40 | 0.03 |
| 28 | VLL45N/ 2050/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 50 | 0.03 |
| 29 | VLL45N/ 2063/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 63 | 0.03 |
| 30 | VLL45N/ 2016/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 16 | 0.1 |
| 31 | VLL45N/ 2020/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 20 | 0.1 |
| 32 | VLL45N/ 2025/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 25 | 0.1 |
| 33 | VLL45N/ 2032/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 32 | 0.1 |
| 34 | VLL45N/ 2040/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 40 | 0.1 |
| 35 | VLL45N/ 2050/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 50 | 0.1 |
| 36 | VLL45N/ 2063/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 63 | 0.1 |
| 37 | VLL45N/ 4016/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 16 | 0.03 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|----|---------------------|-------|-------|---|---|----|------|
| 38 | VLL45N/ 4020/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 20 | 0.03 |
| 39 | VLL45N/ 4025/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 25 | 0.03 |
| 40 | VLL45N/ 4032/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 32 | 0.03 |
| 41 | VLL45N/ 4040/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 40 | 0.03 |
| 42 | VLL45N/ 4050/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 50 | 0.03 |
| 43 | VLL45N/ 4063/030 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 63 | 0.03 |
| 44 | VLL45N/ 4016/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 16 | 0.1 |
| 45 | VLL45N/ 4020/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 20 | 0.1 |
| 46 | VLL45N/ 4025/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 25 | 0.1 |
| 47 | VLL45N/ 4032/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 32 | 0.1 |
| 48 | VLL45N/ 4040/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 40 | 0.1 |
| 49 | VLL45N/ 4050/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 50 | 0.1 |
| 50 | VLL45N/ 4063/100 | 10000 | 20000 | 4 | 4 | 63 | 0.1 |
| 51 | VLL45N/ 2016/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 16 | 0.03 |
| 52 | VLL45N/ 2020/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 20 | 0.03 |
| 53 | VLL45N/ 2025/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 25 | 0.03 |
| 54 | VLL45N/ 2032/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 32 | 0.03 |
| 55 | VLL45N/ 2040/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 40 | 0.03 |
| 56 | VLL45N/ 2050/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 50 | 0.03 |
| 57 | VLL45N/ 2063/030 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 63 | 0.03 |
| 58 | VLL45N/ 2016/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 16 | 0.1 |
| 59 | VLL45N/ 2020/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 20 | 0.1 |
| 60 | VLL45N/ 2025/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 25 | 0.1 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|--|---------------------|-------|--|---|---|----|------|
| 61 | VLL45N/ 2032/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 32 | 0.1 |
| 62 | VLL45N/ 2040/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 40 | 0.1 |
| 63 | VLL45N/ 2050/100 | 10000 | 20000 | 2 | 4 | 50 | 0.1 |
| Технические показатели устройства защитного отключения производителя PANASONIC (RCCB) | | | | | | | |
| 64 | DP2530 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 65 | DP3230 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 32 | 0.03 |
| 66 | DP4030 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 40 | 0.03 |
| 67 | DP6330 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 63 | 0.03 |
| 68 | DP25100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 32 | 0.1 |
| 69 | DP32100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 40 | 0.1 |
| 70 | DP40100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 50 | 0.1 |
| 71 | DP63100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 63 | 0.1 |
| 72 | DP25300 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 32 | 0.3 |
| 73 | DP32300 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 40 | 0.3 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|---|------------------|------|--|---|----|----|------|
| 74 | DP40300 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 50 | 0.3 |
| 75 | DP63300 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 63 | 0.3 |
| 76 | FP2530 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 10 | 25 | 0.03 |
| 77 | FP3230 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 10 | 32 | 0.03 |
| 78 | DP2530 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 79 | DP3230 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 32 | 0.03 |
| 80 | DP4030 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 40 | 0.03 |
| 81 | DP6330 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 63 | 0.03 |
| 82 | DP25100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 32 | 0.1 |
| 83 | DP32100 | 2000 | 20000 (In<25A) 10000 (In>25A) | 2 | 6 | 40 | 0.1 |
| Технические показатели устройства защитного отключения производителя Mitsubitsi (RCCB) | | | | | | | |
| 84 | BH –D 2/25/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 85 | BH –D 2/32/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 32 | 0.03 |
| 86 | BH –D 2/40/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 40 | 0.03 |

Продолжение таблицы 1.9

| | | | | | | | |
|-----|-------------------|------|------|---|---|----|------|
| 87 | ВН –D 2/63/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 63 | 0.03 |
| 88 | ВН –D 4/25/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 89 | ВН –D 4/32/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 32 | 0.03 |
| 90 | ВН –D 4/40/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 40 | 0.03 |
| 91 | ВН –D 4/63/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 63 | 0.03 |
| 92 | ВН –D 2/25/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 25 | 0.3 |
| 93 | ВН –D 2/32/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 32 | 0.3 |
| 94 | ВН –D 2/40/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 40 | 0.3 |
| 95 | ВН –D 2/63/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 63 | 0.3 |
| 96 | ВН –D 4/25/300 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 25 | 0.3 |
| 97 | ВН –D 4/32/300 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 32 | 0.3 |
| 98 | ВН –D 4/40/300 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 40 | 0.3 |
| 99 | ВН –D 4/63/300 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 63 | 0.3 |
| 100 | BVW-T 2/16/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 16 | 0.03 |
| 101 | BVW-T 2/25/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 25 | 0.03 |
| 102 | BVW-T 2/32/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 32 | 0.03 |
| 103 | BVW-T 2/40/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 40 | 0.03 |
| 104 | BVW-T 2/63/30 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 63 | 0.03 |
| 105 | BVW-T 2/32/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 32 | 0.3 |
| 106 | BVW-T 2/40/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 40 | 0.3 |
| 107 | BVW-T 2/63/300 | 2000 | 4000 | 2 | 6 | 63 | 0.3 |
| 108 | BVW-T 4/16/30 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 16 | 0.03 |
| 109 | BVW-T 4/25/30 | 2000 | 4000 | 4 | 6 | 25 | 0.03 |

В Таблице 1.10 приведено сравнение эффективности различных типов защиты при аномальных или предаварийных режимах работы электродвигателей [55].

Функцию защиты электрооборудования в предаварийных режимах, а также защиту человека и животных от поражения электрическим током осуществляют предохранители и автоматические выключатели. Анализ данных [16–18] показывает низкую эффективность такой защиты как в части предупреждения, так и обеспечения электробезопасности.

Анализируя условия функционирования электрической защиты [106], можно выделить причины ее низкой эффективности:

- низкое техническое состояние электрических сетей, электрооборудования и приборов;
- низкая эффективность традиционных средств электрических сетей;
- несвоевременность работ, связанных с ремонтом электрооборудования, электрических сетей и т. д.;
- недостаточное финансирование мероприятий по ремонту, охране труда и т. д.;
- некачественное проектирование электрических сетей и применение соответствующих аппаратов защиты;
- в настоящее время нет показателей границ безотказной работы электрических аппаратов защиты;
- остается неизученным влияние климатических условий на работоспособность электрических аппаратов защиты;
- нет автоматизированной системы, которая во время обнаружения предаварийной ситуации могла бы своевременно принять меры по ее устранению.

Пожарная безопасность электрооборудования должна обеспечиваться, прежде всего, комплексом организационно-технических мероприятий, где особую роль занимает электрическая защита в предаварийных режимах на основе предохранителей, автоматических выключателей, защиты от токов утечки.

Таблица 1.10 – Сравнение эффективности различных устройств защиты от аномальных или предаварийных режимов работы электродвигателей

| Режим | Причины перегревов или разрушения электроизоляции | Тип устройства защиты | | | | |
|---|--|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|-----|
| | | Предохранители | Биметаллические реле | Встроенная температурная | Фазочувствительная | ЗТУ |
| Превышение механической нагрузки | Перегрузка | – | + | + | × | – |
| | Неправильные процессы пуска и торможения | × | × | + | – | – |
| | Повышенная частота включения | – | × | + | – | – |
| | Заклинивание ротора или пуск с заклинённым ротором | × | × | + | + | – |
| Нарушение питания | Обрыв фазы | – | × | + | + | – |
| | Понижение напряжения сети | – | + | + | × | – |
| | Повышение напряжения сети | – | + | + | × | – |
| Нарушение охлаждения | Засорение вентиляционных отверстий или корпуса | – | – | + | × | – |
| | Работа на пониженных скоростях | – | – | + | × | – |
| | Поломка вентиляторов | – | – | + | × | – |
| | Изменение температуры окружающей среды | – | – | + | × | – |
| Однофазный пробой изоляции, появление утечек и напряжений на корпусах | Вибрации, механические повреждения, ошибочные подсоединения, старение, межвитковые замыкания, тепловые воздействия | – | – | – | – | + |

Условные обозначения: «–» – не выполняют защитных функций;
«+» – выполняют защитные функции;
«×» – не всегда выполняют защитные функции.

Эффективность в первую очередь заключается в степени соответствия этой защиты параметрам контролируемого предаварийного режима.

В настоящее время применение электрической защиты регламентируется Правилами устройства электроустановок и другими нормативными документами в области применения электрооборудования. Вместе с тем, электрические сети, несмотря на наличие средств электрической защиты (автоматических выключателей, предохранителей и др.) во многих случаях не защищены от пожароопасных режимов. Причины таких ситуаций рассматривались в предшествующих разделах главы.

Причинно-следственная диаграмма (Рисунок 1.9) показывает анализ корневых причин возникновения пожаров от электрооборудования и роль предлагаемой автоматизированной системы предотвращения пожаров (АСПП) на промышленных объектах Вьетнама.

1.4.2. Анализ устройств защиты электрооборудования промышленных объектов Вьетнама от токов утечки и короткого замыкания. Разработка единой классификации автоматических выключателей

Для построения математических моделей объектов диагностирования необходимо знать физические свойства и характеристики этих объектов. При этом полезна классификация объектов по назначению, принципу действия, структуре, энергетическим признакам [35].

Известно много типов серийных УЗО общепромышленного применения [32] и специального назначения [18,26,27,31]. Принципы построения, структура и алгоритмы функционирования этих групп УЗО существенно различаются.



Рисунок 1.9 – Анализ корневых причин возникновения пожаров от электрооборудования

Анализ показал, что объединение их в один объект исследования настолько усложнит математическое описание объекта, что сделает его малоприменимым для практического использования. Независимые же исследования указанных групп УЗО представляют собой самостоятельные работы. Поэтому дальше рассматриваются только серийные УЗО общепромышленного применения, составляющие подавляющее большинство в электрических установках [32].

Известны классификации УЗО по отдельным признакам, но единой классификации не выявлено. По назначению УЗО делятся на максимальные по току, минимальные по току, минимальные по напряжению, обратного тока и с комбинированной защитой - максимальной по току и минимальной по напряжению [28,53]. Приведенная классификация отражает только защитные функции автоматического выключателя (АВ). Современные же аппараты защиты используются также для дистанционного отключения защищаемой цепи по командам, поступающим от внешних устройств, например, реле защитного отключения [29]. Для этого они снабжаются независимыми расцепителями.

Для выполнения указанных функций промышленность выпускает два класса УЗО: максимальные токовые и многофункциональные (Таблица 1.11). Причем максимальные токовые УЗО выпускаются двух подклассов - для защиты при токах короткого замыкания (ТК), и для комбинированной защиты при токах короткого замыкания и токах перегрузки (ТП).

УЗО, предназначенные для совместного выполнения максимальной токовой защиты (МТЗ), защиты при недопустимом снижении напряжения (НН) и дистанционного отключения (ДО), а также для выполнения любой комбинации этих функций будем называть многофункциональными. Серийно выпускается шесть подклассов многофункциональных УЗО: 1. ТК, НН; 2. ТК, ТП, НН; 3. ТК, ТП, НН, ДО; 4. ТК, ДО; 5. ТК, НН, ДО; 6. ТК, ТП, ДО, каждый из которых реализуется в виде отдельного типоразмера [31].

По принципу коммутации главной цепи УЗО делятся на контактные, бесконтактные и гибридные. В контактных УЗО замыкание и размыкание главной цепи происходит между подвижными и неподвижными (малоподвижными) контактами. Благодаря малой потере мощности и небольшим габаритам контактные УЗО нашли преобладающее применение [106].

В бесконтактных УЗО функции главных контактов выполняют тиристоры [26, 31]. Благодаря большему быстродействию по сравнению с контактными бесконтактные УЗО позволяют значительно ограничить последствия аварийных режимов. Однако тиристоры сами нуждаются в защите при протекании токов перегрузки и короткого замыкания, которая существенно усложняет конструкцию этих аппаратов. Поэтому бесконтактные УЗО имеют ограниченное применение. Их целесообразно использовать в электроустановках, требующих высокого быстродействия защиты, например, в преобразовательных установках, установках специального назначения. Серийно этот класс УЗО не выпускается [31].

Таблица 1.11 – Классификация устройств защитного отключения

| № п/п | Признаки классификации | Классы | Подклассы |
|-------|---|--|--|
| 1. | Назначение | Максимальные токовые | 1.ТК; 2.ТК, ТП; 3.ТК, ТП,ТМ. |
| | | Многофункциональные | 1. ТК, НН; 2. ТК, ТП, НН; 3.ТК,ТП, НН, ДО; 4.ТК, ДО; 4. ТК, НН, ДО; 5. ТК, ТП,ДО. |
| 2. | Принцип коммутации главной цепи | Контактные Бесконтактные Гибридные | Неселективные |
| 3. | Алгоритм функционирования МТЗ | Нетокоограничивающие | Селективные |
| | | Токоограничивающие | |
| 4. | Принцип построения механизма управления | Небыстродействующие | Несамовзводные |
| | | Быстродействующие | Самовзводные |
| 5. | Типы расцепителей | Электромеханические | 1. РЭ; 2. РЭ, РТ; 3. РЭ, РН; 4. РЭ, РМ |

| | | | |
|----|--------------|-------------------|--|
| | | | 5. РЭ, РН, РМ; 6. РЭ, РТ, РН; 7. РЭ, РТ, РМ; 8. РЭ, РТ, РН, РМ. |
| | | Полупроводниковые | Переменного тока |
| | | Комбинированные | 1. РП, РЭ, РН; 2. РП, РЭ, РН, РМ; 3. РП, РН; |
| 6. | Типы уставок | Регулируемые | Аналоговые |
| | | Нерегулируемые | Дискретные |
| 7. | Род тока | Переменного тока | Однополюсные Двухполюсные Трехполюсные |
| | | Постоянного тока | Однополюсные Двухполюсные |

В гибридных УЗО замыкание и размыкание главной цепи выполняется главными контактами, но в момент коммутации цепи ток направляется не через контакты, а через параллельно включенные тиристоры [106]. По техническим показателям гибридные УЗО превосходят контактные, но по массогабаритам и экономическим показателям уступают им. Область применения гибридных УЗО ограничена. Серийно они не выпускаются [31].

Алгоритм функционирования максимальной токовой защиты определяется защитной характеристикой УЗО, которая устанавливает зависимость между силой тока в главной цепи УЗО и продолжительностью включения цепи в ненормальном режиме работы [18,28]. По алгоритму функционирования МТЗ УЗО делятся на два класса: токоограничивающие и нетокоограничивающие. Причем нетокоограничивающие УЗО подразделяются на селективные и неселективные [31].

При этом в селективных УЗО сигнал на отключение цепи проходит через задержку времени, а в неселективных он сразу воздействует на элементы отключения цепи.

По принципу построения механизма управления, УЗО делятся на два класса: небыстродействующие и быстродействующие. При этом небыстродействующие подразделяются на УЗО с самовзводом и без механизма самовзвода.

Если собственное время отключения УЗО не менее 10 мс, то УЗО называется небыстродействующим, а если меньше, то быстродействующим. В небыстродействующих УЗО всегда применяются механизмы управления с защелкой. Собственное время срабатывания таких УЗО колеблется от 10 до 100 мс.

В быстродействующих УЗО, вся конструкция которых подчинена повышению быстродействия, механизмы управления с защелкой обычно не применяются, а используются другие принципы их построения. Это является наиболее характерным конструктивным отличием быстродействующих и небыстродействующих УЗО [18].

Автоматическое отключение небыстродействующих УЗО всегда происходит путем расцепления механизма управления, а возврат механизма в сцепленное состояние может осуществляться либо с помощью привода, либо автоматически самим механизмом. УЗО, имеющие первый тип механизма управления, называются несамовзводными, а имеющие второй тип механизма - самовзводными [31].

По типам расцепителей УЗО делятся на электромеханические, полупроводниковые и комбинированные. При этом электромеханические подразделяются на УЗО с электромагнитными (РЭ), тепловыми (РТ), независимыми (РН) и минимальными (РМ) расцепителями, а полупроводниковые (РП) - на АВ с расцепителями постоянного и переменного тока. В УЗО с комбинированными расцепителями используются совместно электромеханические и полупроводниковые расцепители.

В серийно выпускаемых УЗО используется восемь типонаборов электромеханических расцепителей: 1. РЭ; 2. РЭ, РТ; 3. РЭ, РН; 4. РЭ, РМ; 5. РЭ, РН, РМ; 6. РЭ, РТ, РН; 7. РЭ, РТ, РМ; 8. РЭ, РТ, РН, РМ, четыре типонабора комбинированных расцепителей: 1. РП, РЭ, РН; 2. РП, РЭ, РН, РМ; 3. РП, РН; 4. РП,

РН, РМ и два типа полупроводниковых расцепителей: РП переменного тока, РП постоянного тока.

По типу уставок УЗО делятся на два класса: регулируемые, у которых в процессе эксплуатации уставки могут регулироваться, и нерегулируемые, у которых уставки, заданные изготовителем, не изменяются. При этом регулируемые уставки могут быть аналоговые и дискретные.

УЗО с полупроводниковыми расцепителями имеют регулируемые уставки номинального рабочего тока, тока короткого замыкания, времени перегрузки, времени короткого замыкания и нерегулируемую уставку тока перегрузки. УЗО с тепловыми расцепителями могут иметь регулируемую уставку номинального тока. Уставки УЗО с другими расцепителями обычно нерегулируемые.

По роду тока УЗО делятся на два класса: переменного и постоянного тока. Промышленность выпускает одно-, двух- и трехполюсные УЗО переменного тока; одно- и двухполюсные УЗО постоянного тока.

Проведенный анализ классов УЗО, входящих в разработанную классификацию показывает, что бесконтактные, гибридные и быстродействующие УЗО имеют узкую область применения. Их конструкция, структура и алгоритмы функционирования существенно отличаются от небыстродействующих контактных УЗО. Совместное исследование этих классов нецелесообразно.

Поэтому бесконтактные, гибридные и быстродействующие УЗО дальше не рассматриваются. УЗО постоянного и переменного тока как объекты диагностирования практически не отличаются, так как они имеют сходные структуры и одинаковые алгоритмы функционирования. Их различие заключается лишь в характере изменения электрических сигналов.

На основании изложенного в последующем исследуются только УЗО переменного тока, имеющие преобладающее применение в промышленности [106].

1.5. Постановка задачи и цели исследования

Подводя итог проведенному анализу, необходимо отметить, что число пожаров от электрооборудования составляет более 30 % от общего числа пожаров, а число пожаров от электрооборудования на промышленных объектах составляет более 60 % от общего числа пожаров на промышленных объектах. Причинами данных пожаров является нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. Наряду с данными причинами решающую роль играет показатель надежности электрических аппаратов защиты, так как они являются объектами длительного и непрерывного [33] использования и для них наиболее важны вопросы обеспечения безотказности, ремонтпригодности и долговечности.

В связи с этим возникает вопрос сохранения работоспособности после появления отклонений, приводящих к крупномасштабным последствиям. Наконец, должна обеспечиваться и безопасность функционирования, как в нормальных, так и в предаварийных режимах.

Исходя из изложенного, предложения по применению теоретико-автоматной модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах противопожарной защиты электрооборудования промышленных предприятий следует считать весьма актуальной. Применение данной модели позволяет решать следующие задачи:

- определить эффективность применения существующих устройств защитного отключения, применяющихся в промышленности Вьетнама;
- эффективно оценивать работоспособность систем предотвращения пожаров промышленных объектов Вьетнама;
- определить периодичность производства планово-предупредительных работ, а также текущего ремонта;
- formalизовать процесс проектирования.

Разрабатываемый подход позволит также определить предаварийное состояние электрических средств защиты и отключить линии от энергоисточников, передать информацию на вышестоящий уровень в АСУ промышленных объектов [16,22].

Применение подхода на основе теоретико-автоматной модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах противопожарной защиты электрооборудования промышленных предприятий позволит повысить уровень пожарной безопасности промышленных объектов. А система определения периодичности технического обслуживания устройства защитного отключения от предаварийных режимов работы электродвигателей позволит оценивать периодичность ремонтных работ, замены, оценивать количество запасного оборудования и прогнозировать вероятность возникновения предаварийной ситуации. Данный комплекс осуществляет мониторинг пожарной опасности электрической сети предприятия и условий функционирования устройств защитного отключения и необходим для построения системы профилактических мероприятий, контроля, диагностики, планово-предупредительных и капитальных ремонтов, обеспечивающей высокий уровень безотказности.

Выводы по главе 1

1. Проведен анализ состояния электрооборудования промышленных предприятий Вьетнама. Даны результаты анализа состояния пожарной опасности электрооборудования за период с 2009 по 2020 гг. Выявлено, что число пожаров от электрооборудования составляет более 30 % от общего числа пожаров, а число пожаров от электрооборудования на промышленных объектах составляет более 60 % от общего числа пожаров на промышленных объектах Вьетнама. Среднестатистическим анализом установлено, что одной из ведущих электротехнических причин данных пожаров является несработка автоматических выключателей, устройств защитного отключения.

2. Проведен анализ устройств защитного отключения как средств защиты электрических сетей объектов промышленных предприятий Вьетнама. Установлено, что данные устройства с момента их монтажа практически не обслуживаются и не подлежат замене согласно установленной наработке на отказ заводом-изготовителем.

3. Проведен анализ методов оценки пожарной опасности электрооборудования, эффективности различных типов защиты при аномальных или предаварийных режимах работы электродвигателей. Выявлена единая классификация устройств защитного отключения. Приведены предпосылки применения теоретико-автоматной модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах противопожарной защиты электрооборудования промышленных предприятий.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

2.1. Определение внешних связей устройств защитного отключения в системах защиты и пожарной безопасности электрических установок

При анализе объектов используют два подхода: функциональный и структурный [106]. В данном разделе рассмотрим функциональный подход, который заключается в исследовании реализуемых объектом функций без учета его внутренней структуры. При этом подходе выявляются внешние связи объекта и соответствующие им входные и выходные переменные, определяется характер обработки входной информации и находятся функциональные зависимости, реализуемые объектом.

Для решения указанных задач рассмотрим электрическую установку напряжением до 1кВ (ЭУ). Согласно [41] такая установка включает аппарат защиты, электрическую цепь (ЭЦ) и окружающую среду (ОС) вместе с сооружениями и помещениями (Рисунок 2.1). При этом в качестве аппарата защиты используется УЗО.

Различают нормальный режим работы ЭЦ и ненормальные режимы [18,46, 53]. В нормальном режиме электрические параметры цепи могут отклоняться от номинальных значений в допустимых пределах, определенных техническими требованиями. Продолжительность этого режима обычно не ограничивается. В ненормальных режимах, которые являются пожароопасными, значения указанных параметров выходят за допустимые пределы. К этим режимам относятся: недопустимое снижение напряжения электрической сети (ЭС), прохождение в ЭЦ тока перегрузки и тока короткого замыкания. Для каждой ЭЦ устанавливается допустимое время работы в ненормальном режиме, по истечении которого цепь

отключается от ЭС с помощью аппарата защиты. УЗО идентифицируют четыре ненормальных режима: протекание тока перегрузки, тока короткого замыкания, максимального тока и недопустимое снижение напряжения; обеспечивают установленное алгоритмом функционирования время работы ЭЦ в каждом из этих режимов и отключают цепь в момент истечения установленного времени. Кроме того, УЗО осуществляют коммутацию цепей управления, сигнализации, блокировки, принимают от внешних устройств (ВУ) и исполняют команды на отключение или включение ЭЦ, а также допускают нечастые включения и отключения ЭЦ с помощью ручного или механизированного привода (П).

Для реализации указанных функций на входы УЗО подаются сигналы $X_{эс}$, X_n , $X_{бу}$, соответственно от электрической сети, привода, внешнего устройства, а по обратным связям поступают сигналы $X_{эц}$, $Z_{ав}$. На входах УЗО задаются также уставки $X_э$ электрических параметров, соответствующие границам отсчета ненормальных режимов работы ЭЦ, и уставки $X_в$ времени, в течение которого допускается работа цепи в каждом из этих режимов.

УЗО защищают ЭЦ и обслуживающий персонал от опасных электрических воздействий, возникающих при ненормальных режимах. Но они не реагируют на термические воздействия ЭЦ, когда она становится источником зажигания. Такая ситуация возникает при нештатных режимах работы и особенно при возникновении токов утечки [18].

Поэтому пожароопасные электроустановки оборудуются автоматизированными системами пожарной безопасности (АСПБ), включающими систему пожарной сигнализации (СПС) и автоматическую установку пожаротушения (АУП) [106].

УЗО является элементом системы АСПБ и должен взаимодействовать с ней на начальной стадии возникновения пожарной и электрической опасности. С этой целью при срабатывании АВ, вызванном ненормальным режимом, в систему

поступает тревожный сигнал $Z_{ав}$, а в случае пожара, вызванного иным источником зажигания (ИЗ), СПС выдает сигнал $Z_{спс}$ на отключение ЭЦ.

Выше были определены внешние связи УЗО, их входные и выходные сигналы, а структура этих сигналов будет рассмотрена в следующих разделах.

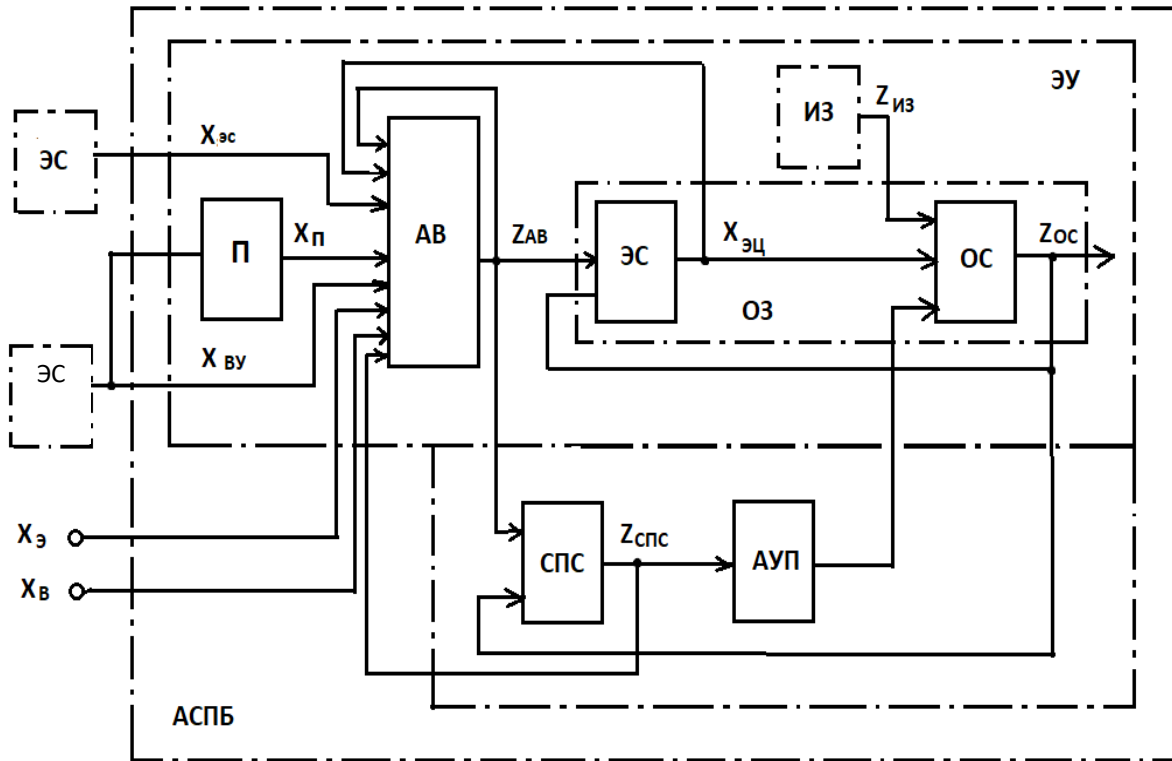


Рисунок 2.1 – Структурная схема автоматизированной системы пожарной безопасности электроустановок

2.2. Анализ структуры входных сигналов устройств защитного отключения

Для построения математической модели исправного УЗО, если рассматривать его как "черный ящик" [21], исходными данными являются множества значений входных переменных и внутренних состояний. С целью выявления указанных данных рассмотрим входные сигналы УЗО, изображенные на Рисунке 2.2. При этом исключим из рассмотрения сигнал $Z_{спс}$, так как практически он поступает на тот же

вход, что и сигнал $X_{вy}$ и в процессе функционирования автоматического выключателя эти сигналы не различаются.

Входные сигналы в общем случае могут состоять из набора элементарных сигналов, представляющих собой значения входных переменных. При этом по одному элементарному каналу может передаваться один или несколько элементарных сигналов [56].

Сигнал $X_{эс}$ характеризуется двумя переменными: напряжением $x_{эс н}$ и силой тока $x_{эс т}$. Сила тока на входе УЗО не является существенной входной переменной, так как она не служит аргументом выходной функции Z_{AB} . Наоборот, сила тока сама является функцией, зависящей от проводимости УЗО и проводимости защищаемой цепи, то есть она представляет собой выходную переменную УЗО.

Напряжение $x_{эс.н}$ поступает на два независимых входа выключателя и передается по двум различным каналам. По одному из этих каналов оно поступает на внешние выходы УЗО, а по второму - к минимальному расцепителю, обеспечивающему защиту электрической цепи при недопустимом снижении напряжения сети [31].

Указанные каналы по-разному реагируют на одни и те же значения входного напряжения. Кроме того, включение и отключение минимального расцепителя происходит при разных значениях напряжения, то есть канал защиты идентифицирует это напряжение как две различные переменные. Поэтому разделим напряжение $x_{эс.н}$ на три переменные: напряжение питания $x_{эс}$, напряжение включения $x_{нв}$ и напряжение отключения $x_{но}$.

Напряжение $x_{эс}$ влияет на выходные сигналы УЗО: силу тока и напряжение, но не является существенным для функционирования самого УЗО. Однако при решении задач диагностирования канала питания наличие или отсутствие сигнала $x_{эс}$ на его входе является существенным. Поэтому напряжение питания $x_{эс}$ будем рассматривать как двоичную переменную, имеющую два значения, одно из которых,

соответствующее нулю, обозначим символом $x_{эс}$, а второе, равное 1 - символом $\bar{x}_{эс}$. Эти символы будем называть сигналами напряжения питания УЗО.

Значения напряжения $x_{но}$, воздействуют при притяннутом состоянии минимального расцепителя. Если эти значения находятся в недопустимой области, то расцепитель переходит в отпущенное состояние, а если в допустимой области, то он остается в притяннутом состоянии [106]. Расцепитель реагирует только на две указанные области, а изменения значений внутри этих областей он не идентифицирует. Поэтому, напряжение $x_{но}$ будем рассматривать как двоичную переменную, имеющую значения $x_{но}$ и $\bar{x}_{но}$, из которых $x_{но}$ соответствует области недопустимых значений, а $\bar{x}_{но}$ - допустимых (Рисунок 1.2). Эти значения будем называть сигналами напряжения отпускания.

Значения напряжения $x_{нв}$ влияют на поведение минимального расцепителя, когда он находится в отпущенном состоянии. Если эти значения находятся в недопустимой области, то расцепитель продолжает оставаться в отпущенном состоянии, а если в допустимой - он переходит в притянутое состояние, снимая блокировку на включение УЗО. Расцепитель идентифицирует только две указанные области, а изменений значений внутри этих областей он не распознает. Напряжение $x_{нв}$ также будем рассматривать в качестве двоичной переменной со значениями $x_{нв}$ и $\bar{x}_{нв}$, из которых $x_{нв}$ соответствует области допустимых значений, а $\bar{x}_{нв}$ - недопустимых значений. Значения $x_{нв}$ и $\bar{x}_{нв}$ будем называть сигналами напряжения притяжения.

Сигналы X_n характеризуются двумя переменными: силой включения $x_в$ и силой отключения x_0 . Сила включения используется для изменения отключенного состояния УЗО на включенное. Множеством значений этой силы является область $0 \leq x_в \leq x_{го}$, где $x_{го}$ - граница неустойчивости отключенного состояния.

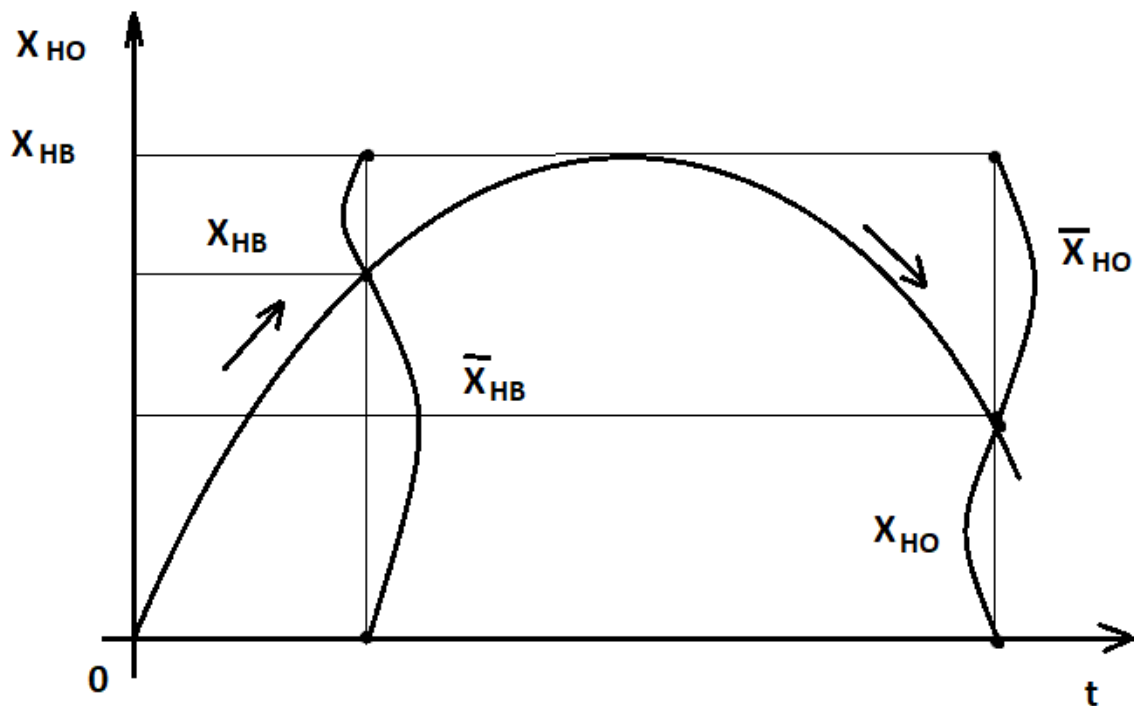


Рисунок 2.2 – Иллюстрация к алгоритму функционирования автоматического выключателя с минимальной защитой

При возрастании силы x_B от нуля до границы неустойчивости существенных изменений внутренних и выходных сигналов УЗО не наблюдается, а при значении силы, равной границе неустойчивости, происходит мгновенный процесс переключения УЗО из отключенного состояния во включенное. Поэтому силу включения x_B будем считать двоичной переменной, имеющей значения x_B и \bar{x}_B , из которых $0 \leq \bar{x}_B < x_{го}$, а $x_B = x_{го}$. Значения x_B и \bar{x}_B будем называть сигналами включения.

Сила отключения x_0 используется для переключения выключателя из включенного или расцепленного состояния в отключенное. Множеством значений этой силы при переключении из включенного состояния является область $0 \leq x_0 < x_{гв}$, а множеством значений при переключении из расцепленного состояния -

область $0 \leq x_0 \leq x_{гс}$, где $x_{гс}$ - граница сцепления механизма управления, $x_{гв}$ - граница неустойчивости включенного состояния.

При возрастании силы x_0 от нуля до границ $x_{гв}$ и $x_{гс}$ существенных изменений в поведении УЗО не наблюдается. При значении же силы $x_0 = x_{гв}$ происходит мгновенный процесс переключения УЗО в отключенное состояние, а при $x_0 = x_{гс}$ осуществляется сцепление механизма управления.

На основании изложенного силу отключения x_0 будем рассматривать как двоичную переменную, имеющую значения x_0 и $\overline{x_0}$, из которых $x_0 = x_{гв}$ при переключении в отключенное состояние и $x_0 = x_{гс}$ - при взводе УЗО и соответственно $0 \leq \overline{x_0} \leq x_{гв}$ или $0 \leq \overline{x_0} \leq x_{гс}$.

Очевидно, что при использовании силы x_0 в указанных двух переключениях АВ, она представляет две двоичные переменные, так как силы $x_{гв}$ и $x_{гс}$ не равны. Но учитывая, что сигналы $x'_0 = x_{гв}$ и $x''_0 = x_{гс}$ воздействуют на один и тот же вход и АВ не распознаются, отождествим x'_0 и x''_0 и будем представлять силу x_0 одной двоичной переменной, а ее значения x_0 , и $\overline{x_0}$ будем называть соответственно сигналами отключения или взвода.

Сигнал $X_{гв}$ описывается одной переменной – напряжением $x_{ву}$ цепи дистанционного отключения, поступающим на вход независимого расцепителя [18]. Множество значений этого напряжения разобьем на два подмножества: $x_{ву} < x_{гс}$ и $x_{ву} > x_{гс}$, где $x_{гс}$ - граница срабатывания расцепителя (уставка).

Первое подмножество назовем областью несрабатывания, а второе - областью срабатывания. На значения напряжения из области несрабатывания УЗО не реагирует, а при значениях из области срабатывания он переключается из включенного состояния в расцепленное. При этом закон изменения напряжения $x_{ву}$ в указанных областях не влияет на поведение УЗО.

Следовательно, УЗО отображает напряжение дистанционного отключения как двоичную переменную, принимающую два значения, одно из которых, соответствующее области срабатывания, обозначим символом $x_{ву}$, а второе,

соответствующее области несрабатывания, - символом $\bar{x}_{\text{вн}}$. Эти символы будем называть сигналами дистанционного отключения.

Сигнал $X_{\text{эц}}$ поступает на вход УЗО от электрической цепи по обратной связи, образованной путем расщепления одной реальной связи на две параллельные: прямую и обратную. По прямой связи, от входов УЗО к его выходам, передается напряжение $x_{\text{эс}}$, а по обратной - с выходов на входы - проводимость $X_{\text{эц}}$ электрической цепи. Разорвем условно обратную связь и будем считать место разрыва внешним входом УЗО, на который воздействует внешний сигнал $X_{\text{эц}}$.

Сигнал $X_{\text{эц}}$ отображает проводимость электрической цепи, которую расщепим на три переменные: $x_{\text{п}}$ - проводимость перегрузки; $x_{\text{к}}$ - проводимость короткого замыкания и $x_{\text{м}}$ - проводимость максимальной нагрузки.

Множество значений проводимости $x_{\text{п}}$ разобьем на два подмножества: $x_{\text{п}} < x_{\text{гп}}$ и $x_{\text{п}} \geq x_{\text{гп}}$, где $x_{\text{гп}}$ - граница области перегрузки. Первое подмножество назовем областью нормальной нагрузки, а второе - областью перегрузки (Рисунок 1.3).

УЗО идентифицирует только указанные области значений проводимости $x_{\text{п}}$, а на изменение значений внутри этой области он не реагирует. Поэтому, проводимость $x_{\text{п}}$ можно рассматривать как двоичную переменную, одно из значений которой, соответствующее области нормальной нагрузки, обозначим символом $\bar{x}_{\text{п}}$, а второе, соответствующее области перегрузки - символом $x_{\text{п}}$. Значения $x_{\text{п}}$ и $\bar{x}_{\text{п}}$ будем называть сигналами перегрузки.

Множество значений проводимости $x_{\text{к}}$ также разобьем на два подмножества: $x_{\text{к}} < x_{\text{гк}}$ и $x_{\text{к}} \geq x_{\text{гк}}$, где $x_{\text{гк}}$ - граница короткого замыкания. Подмножество $x_{\text{к}} < x_{\text{гк}}$ назовем областью допустимых значений при коротком замыкании, а подмножество $x_{\text{к}} \geq x_{\text{гк}}$ - областью короткого замыкания. Как и в случае перегрузки, УЗО идентифицирует только области значений $x_{\text{к}}$, а изменение значений внутри этих областей не влияют на алгоритм его функционирования [77].

Следовательно, проводимость $x_{\text{к}}$ также можем считать двоичной переменной, одно из значений которой, соответствующее области $x_{\text{к}} < x_{\text{гк}}$, обозначим символом

\bar{x}_k , а второе, соответствующее области $x_k \geq x_{гк}$ - символом x_k . Эти значения назовем элементарными сигналами проводимости при коротком замыкании.

Множество значений проводимости x_m также представим двумя подмножествами: $x_m < x_{гм}$ и $x_m \geq x_{гм}$, где $x_{гм}$ - граница максимальной проводимости. Подмножество $x_m < x_{гм}$ назовем областью допустимых значений при максимальной нагрузке, а подмножество $x_m \geq x_{гм}$ - областью максимальной нагрузки.

Автоматический выключатель распознает только упомянутые две области, а изменения значений внутри этих областей на его функционировании не отражаются. Следовательно, проводимость x_m также можем считать двоичной переменной, одно из значений которой \bar{x}_m отождествим с подмножеством $x_m < x_{гм}$, а второе x_m с подмножеством $x_m \geq x_{гм}$.

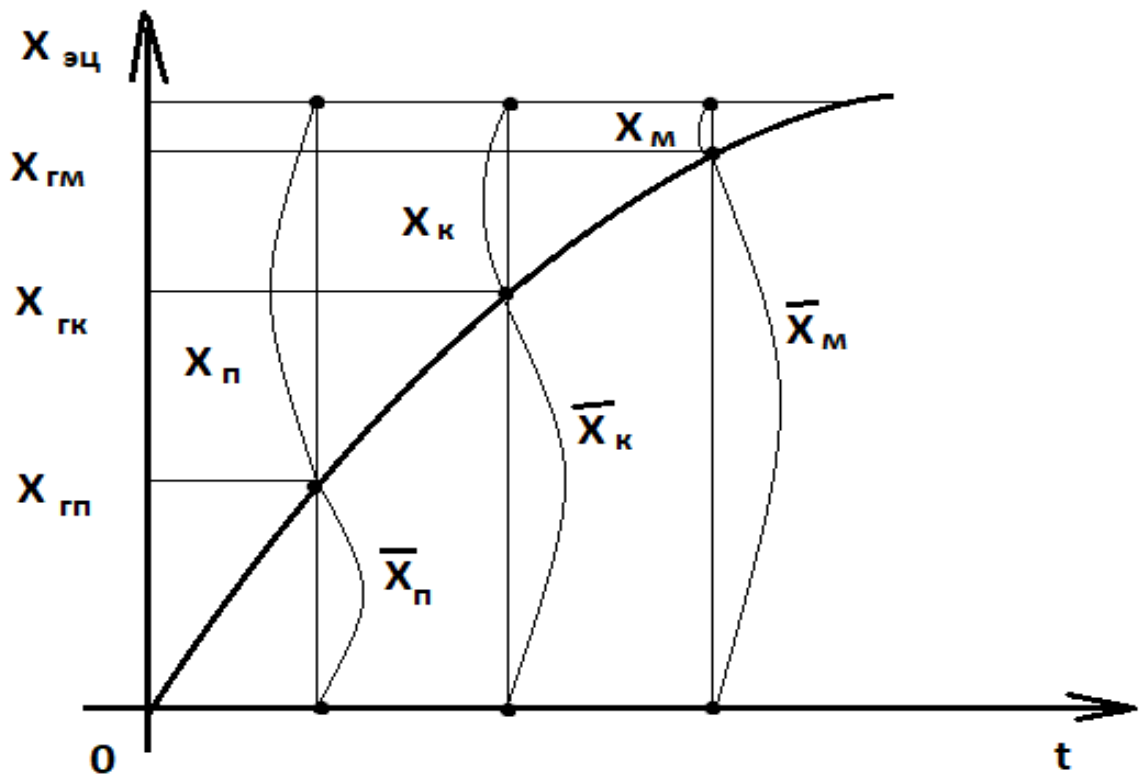


Рисунок 2.3 – Области проводимостей электрической цепи

2.3. Анализ структуры выходных сигналов устройств защитного отключения

Для построения математической модели объекта необходимо знать множество выходных переменных [34]. С этой целью рассмотрим выходной сигнал $Z_{ав}$ УЗО (см. Рисунок 2.4). Сигнал $Z_{ав}$ состоит из элементарных сигналов, представляющих собой значения следующих девяти выходных функций: напряжения $z_{цн}$, тока перегрузки $z_{цп}$, тока короткого замыкания $z_{цк}$, тока максимальной нагрузки $z_{цм}$, проводимости замыкающих контактов $z_{зк}$, проводимости размыкающих контактов $z_{рк}$, координаты индикатора отключенного состояния $z_{ио}$, координаты индикатора включенного состояния $z_{ив}$ и координаты расцепленного состояния $Z_{нр}$.

При описании УЗО существенным является наличие или отсутствие выходного напряжения $Z_{цн}$. Поэтому множество значений этой переменной представим в виде двух подмножеств: $z_{цн} = 0$ и $z_{цн} > 0$. Первое подмножество обозначим символом $\bar{z}_{цн}$, а второе символом $z_{цн}$. Отсюда напряжение $z_{цн}$ можно рассматривать как двоичную переменную, а два ее значения - сигналами выходного напряжения.

Токи перегрузки $z_{цп}$, короткого замыкания $z_{цк}$ и максимальной нагрузки $z_{цм}$ образованы в результате расщепления тока главной цепи на три переменные, так как каждой из них соответствуют свои области значений, которые распознает УЗО. Множество значений тока перегрузки $z_{цп}$, аналогично проводимости перегрузки $x_{п}$, представим двумя подмножествами (Рисунок 1.4): $z_{цп} < z_{ун}$ и $z_{цп} \geq z_{ун}$, где $z_{ун}$ - уставка тока перегрузки. Первое подмножество назовем областью нормальных значений тока, а второе - областью перегрузки (на графике границы областей отмечены точками), и обозначим их соответственно символами $\bar{z}_{цп}$ и $z_{цп}$. При значениях $\bar{z}_{цп}$ максимальная токовая защита находится в состоянии идентификации, а при значениях $z_{цп}$ - возбуждается канал защиты при перегрузке. Следовательно, ток $z_{цп}$

можно рассматривать как двоичную переменную, а значения $Z_{цп}$ и $\bar{Z}_{цп}$ - как двоичные сигналы.

Множество значений тока короткого замыкания $Z_{цк}$ также представим двумя подмножествами: $Z_{цк} < Z_{ук}$ и $Z_{цк} \geq Z_{ук}$, где $Z_{ук}$ - уставка тока короткого замыкания. Первое подмножество назовем областью допустимых значений, а второе - областью короткого замыкания и обозначим их соответственно символами $\bar{Z}_{цк}$ и $Z_{цк}$. При значениях $\bar{Z}_{цк}$ канал защиты для тока короткого замыкания закрыт, а при значениях $Z_{цк}$ он функционирует в соответствии с алгоритмом. Отсюда следует, что ток короткого замыкания можно считать двоичной переменной, а ее значения $Z_{цк}$ и $Z_{цк}^{\wedge}$ - двоичными сигналами.

Ток максимальной нагрузки $Z_{цм}$ разобьем на подмножества $Z_{цм} < Z_{ум}$ и $Z_{цм} \geq Z_{ум}$, где $Z_{ум}$ - уставка максимального тока, при достижении которой должна мгновенно срабатывать защита. Первое подмножество значений обозначим символом $\bar{Z}_{цм}$, а второе символом $Z_{цм}$. Значения $Z_{цм}$ и $\bar{Z}_{цм}$ будем называть сигналами максимального тока.

Проводимости $Z_{зк}$ и $Z_{рк}$ являются дискретными двоичными переменными. Значения этих переменных, соответствующие замкнутым контактам обозначим символами $Z_{зк}$, $Z_{рк}$, а разомкнутым - $\bar{Z}_{зк}$, $\bar{Z}_{рк}$.

Координаты $Z_{ио}$, $Z_{ив}$, $Z_{ир}$ индикаторов внутреннего состояния АВ являются дискретными переменными, принимающими два значения, одно из которых является истинным, а второе - ложным. Истинные значения этих переменных обозначим символами $Z_{ио}$, $Z_{ив}$, $Z_{ир}$, а ложные - символами: $\bar{Z}_{ио}$, $\bar{Z}_{ив}$, $\bar{Z}_{ир}$. Указанные значения будем рассматривать как элементарные сигналы индикации состояния.

Уставки $Z_{уп}$, $Z_{ук}$, $Z_{ум}$, разделяющие множества значений токов на области, представляют собой внутренние параметры УЗО, реализуемые с помощью полупроводниковых, тепловых и электромагнитных расцепителей, а также токограничивающего устройства.

Полупроводниковые расцепители позволяют задавать регулируемые уставки $Z_{уп}$, $Z_{ук}$ и нерегулируемую уставку $Z_{ум}$ [28,29], тепловые расцепители - регулируемую или нерегулируемую уставку $Z_{уп}$, а электромагнитные - только нерегулируемую уставку $Z_{ук}$. Токоограничивающее устройство, которое по существу также является расцепителем, всегда задает нерегулируемую уставку $Z_{ум}$.

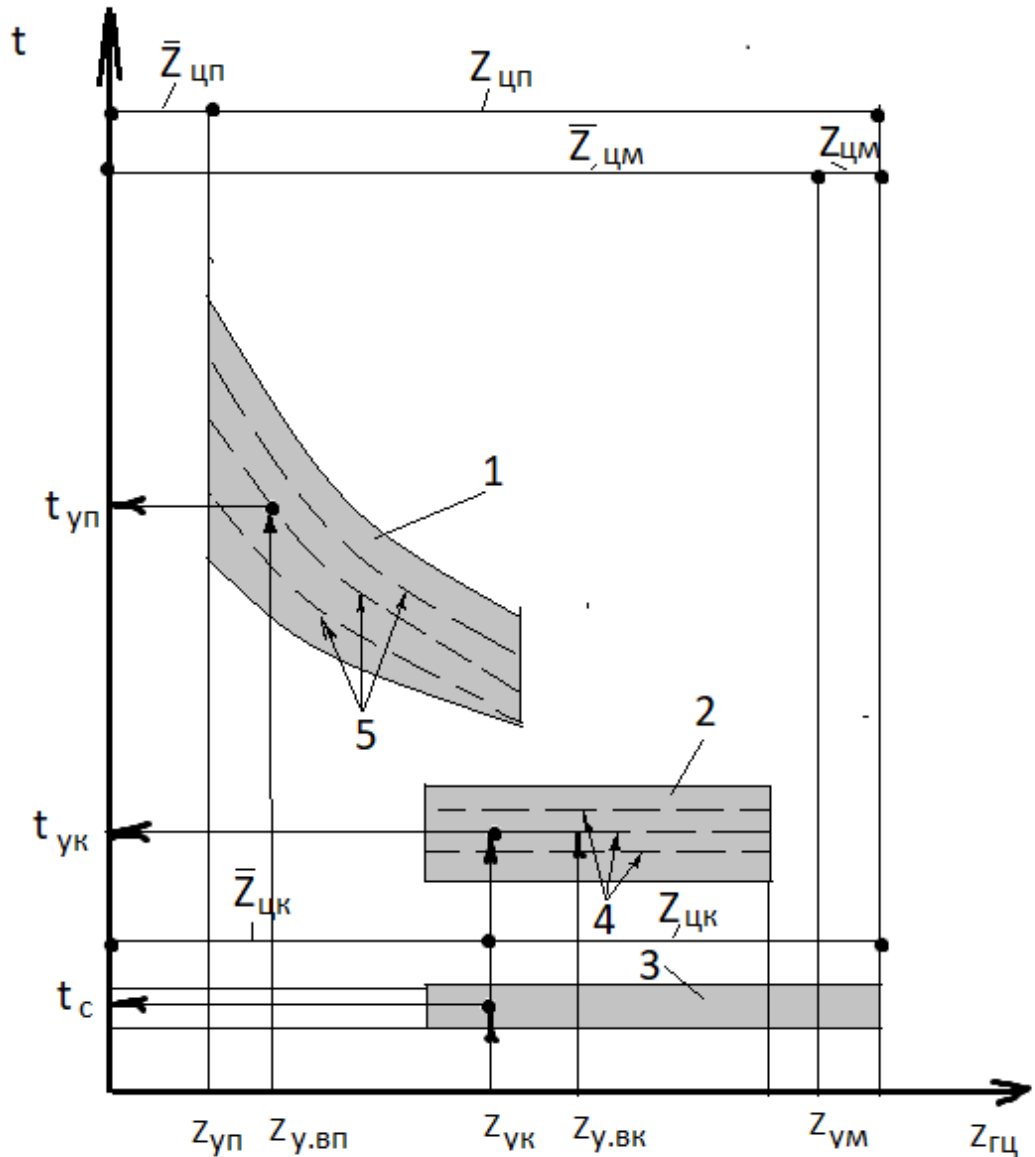


Рисунок 2.4 – Защитные характеристики УЗО: 1,2 –области регулируемого времени срабатывания соответственно при перегрузке и коротком замыкании; 3-область соответственного времени срабатывания; 4,5 –калибруемые значения.

У УЗО с регулируемым уставками $Z_{уп}$, $Z_{ук}$, $Z_{ум}$, которые в дальнейшем будем называть электрическими, имеются дополнительные входы. На эти входы подается сигнал X_3 (Рисунок 2.4), соответствующий задаваемым уставкам. Дополнительные входы, в отличие от основных, используются только для регулирования уставок и не применяются при выполнении УЗО рабочего алгоритма функционирования.

Сигнал X_3 характеризуется двумя переменными: шкалой $x_{уд}$ и шкалой $x_{ук}$, из которых первая используется для задания уставки $Z_{ун}$ номинального рабочего тока, а вторая - для задания уставки $Z_{ук}$ тока короткого замыкания. Шкала $x_{ун}$ представляет собой последовательность чисел, каждому из которых соответствует определенная уставка $Z_{ун}$.

Во всех автоматических выключателях принято:

$$Z_{уп} = nZ_{ун}, \quad (2.1)$$

где n - постоянный нерегулируемый коэффициент, который для различных типов полупроводниковых и тепловых расцепителей изменяется от 1,15 до 1,35. Коэффициент n устанавливается изготовителем и при эксплуатации не регулируется.

Конструкции всех УЗО [11] построены так, что регулировка уставок $Z_{ун}$ и $Z_{уп}$ производится одновременно путем задания соответствующего значения на шкале $x_{ун}$. Поэтому для определения уставки $Z_{уп}$ необходимо воспользоваться уравнением (2.1).

Шкала $x_{ук}$ также представляет собой последовательность чисел, каждому из которых соответствует определенное значение (уставка) тока короткого замыкания. Для всех автоматических выключателей принято:

$$Z_{ук} = kZ_{ун}, \quad (2.2)$$

где k - коэффициент, который у электромагнитных расцепителей устанавливается изготовителем и дальнейшей регулировке не подлежит, а у полупроводниковых он может регулироваться в пределах от 2 до 16. Регулировка выполняется путем установки коэффициента k на шкале $x_{ук}$, соответствующего расчетному значению уставки $Z_{ук}$.

Из анализа следует, что шкалы уставок не являются входными переменными, используемыми при рабочем функционировании УЗО. Они служат только для задания его внутренних электрических параметров. Поэтому отклонение уставок от заданных значений должно рассматриваться как неисправность расцепителей и шкал для регулировки уставок.

Введенные в п. 2.3 границы $X_{ГП}$, $X_{ГК}$, $X_{ГМ}$ связаны с уставками $Z_{УП}$, $Z_{УК}$, $Z_{УМ}$ уравнениями:

$$X_{2n} = Z_{yn} / Z_{цн}; \quad (2.3)$$

$$X_{2к} = Z_{yk} / Z_{цн}; \quad (2.4)$$

$$X_{2м} = Z_{ym} / Z_{цн}; \quad (2.5)$$

из которых следует, что задание уставок приводит одновременно к заданию границ нагрузки электрической цепи, определяющих нормальный и ненормальный режимы ее работы.

2.4. Определение типа математических моделей для устройств защитного отключения

2.4.1. Определение полной системы элементарных автоматов для построения логических сетей устройств защитного отключения

В настоящее время все большее применение находят формальные методы построения алгоритмов, которые, в отличие от интуитивных, предполагают наличие формального описания объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях. Такое формальное описание называется математической моделью объекта [106].

Математическая модель объекта представляет собой композицию моделей.

Обычно математическая модель исправного объекта является заданной и по ней строятся модели неисправных модификаций. В общем виде ее можно представить записью

$$Z = \varphi(x, y, t), \quad (2.6)$$

где z - множество выходных функций (переменных), x - множество входных переменных, y - множество начальных значений внутренних переменных, t - время.

В качестве описаний УЗО при проверке функционирования используются структурные, функциональные и принципиальные схемы, а также защитные характеристики и таблицы значений внутренних параметров в контрольных точках [28,29]. Эти описания, применимые в интуитивных методах проверки, не могут служить основой для разработки формальных методов построения алгоритмов функционирования, так как они не являются математическими моделями.

Для формального описания УЗО принципиально можно использовать математические модели различных типов, основными из которых являются логические и динамические [34]. Исходными формами представления объекта диагностирования для построения моделей логического типа являются структурные, функциональные и принципиальные схемы, а для динамических моделей - кроме указанных схем еще временные и частотные характеристики объекта. Получение этих характеристик связано с большой экспериментальной и вычислительной работой, требующей проведения самостоятельных научных исследований. Кроме того, для реализации динамических моделей необходимо провести существенное изменение конструкции УЗО и оснастить их специальной дорогостоящей диагностической аппаратурой.

В настоящее время УЗО не приспособлены для построения динамических моделей. Кроме того, при решении задач диагностирования объектов в первую очередь следует использовать модели логического типа как наиболее простые и легко поддающиеся анализу с использованием современных средств вы-

числительной техники. Более сложные динамические модели следует применять лишь в случае, когда нельзя использовать модели логического типа.

Для построения математических моделей логического типа необходимо, чтобы входные, выходные и внутренние переменные были двоичными.

Анализ входных, выходных и внутренних переменных УЗО, проведенный в предыдущих разделах, показал, что каждую из этих переменных можно рассматривать как двоичную, одно из значений которой является истинным, а другое - ложным. Выше эти значения обозначались символами соответственно без черточки и с черточкой. В дальнейшем, как это принято в алгебре логики [106], истинные значения будем обозначать также символом "1", а ложные - символом "0".

Входные и выходные сигналы УЗО поступают и выдаются непрерывно. Отрезок времени между двумя соседними моментами изменения входного (выходного) набора представляет собой длину входного такта. Все непрерывное время функционирования УЗО разбито на такты переменной длины, каждому из которых соответствует свой набор значений входных (выходных) переменных. Смежных тактов с одинаковыми наборами быть не может, так как любой следующий такт определяется новым набором, отличающимся от предыдущего значением одной или нескольких переменных.

Внутреннее состояние УЗО в момент t определяется набором значений его внутренних переменных. Каждому набору этих значений соответствует свой внутренний такт, в течение которого состояние УЗО остается неизменным. Любое изменение внутреннего набора приводит к новому состоянию УЗО.

Исследование рабочего алгоритма функционирования УЗО показало, что эти аппараты можно классифицировать как устройства, перерабатывающие двоичные входные сигналы в двоичные выходные сигналы. Они имеют конечное число входных и выходных каналов и конечное множество внутренних состояний. УЗО функционируют в дискретные моменты времени и определяются дискретными состояниями. Заключение об их техническом состоянии делается по результатам

измерения значений выходных и внутренних сигналов в установившемся состоянии. При этом изменения этих сигналов в переходном процессе не учитываются.

Поэтому применение для УЗО моделей логического типа является вполне естественным. Известны различные модели логического типа [19], из которых самое широкое применение получили конечные автоматы, абстрактно определяемые как пятёрка:

$$G = (Q, X, Z, \delta, \lambda), \quad (2.7)$$

где Q - конечное множество внутренних состояний, X - конечное множество входных сигналов, Z - конечное множество выходных сигналов, $\delta: Q \times X \rightarrow Q$ - функция переходов, $\lambda: Q \times X \rightarrow Z$ - функция выходов [106]. Множества Q , X , Z называются соответственно внутренним, входным и выходным алфавитами.

В абстрактной теории автоматов внутренние состояния автомата, его входные и выходные сигналы рассматриваются как символы, а в структурной теории - как наборы закодированных элементарных сигналов.

Конечные автоматы используются в качестве математических моделей дискретных устройств, значения всех переменных которых задаются на конечных множествах, а время отсчитывается дискретно в виде целых чисел $t = 0, 1, 2, \dots$. Особенно широко они применяются в качестве моделей двоичных дискретных устройств [46].

Отсюда следует, что конечные автоматы могут быть использованы в качестве математических моделей УЗО. Значимость этих моделей, кроме простоты, состоит еще и в том, что теория их построения и методы анализа находятся на высоком уровне [74, 106] и для их реализации можно использовать средства вычислительной техники. Поэтому все формальные описания УЗО будем делать в виде конечных автоматов.

Конечные автоматы подразделяются на синхронные и асинхронные. В синхронных автоматах моменты дискретного времени $t=0, 1, 2, \dots$, в которые возможны изменения состояния автомата, следуют через равные промежутки

времени, определяемые генератором тактовых импульсов. В асинхронных автоматах моменты перехода автомата из одного состояния в другое заранее не определены и могут совершаться через неравные промежутки времени. Шкала дискретного времени для них определяется моментами фактического перехода автомата из одного состояния в другое [106] под воздействием входных и внутренних сигналов. Из проведенного ранее анализа следует, что для описания УЗО нужно использовать асинхронные автоматы.

При изменении набора входных сигналов или набора внутренних сигналов УЗО может перейти только в одно определенное состояние (функция переходов λ для него однозначна). Причем путем подачи соответствующего входного слова (последовательности входных наборов) он может быть переведен в любое другое состояние. Из первого утверждения следует, что для описания автоматического выключателя нужно использовать детерминированные автоматы (функция переходов δ - однозначна), а из второго - автоматы связные.

Для УЗО не определено начальное состояние, из которого они всегда начинают работать. Поэтому моделями для них будут неинициальные автоматы.

Определим для каждого из четырех блоков, изображенных на Рисунок 2.5, полный набор функциональных частей [106], используемых во всех серийных УЗО. В работе [31] отмечается, что принципы построения всех небыстродействующих контактных УЗО практически одинаковы. А различия между отдельными типами УЗО проявляются лишь в наличии или отсутствии некоторых функциональных частей и в конструкции отдельных устройств. Однако, единой схемы, которая бы включала полный набор функциональных частей, используемых во всех серийных УЗО не выявлено.

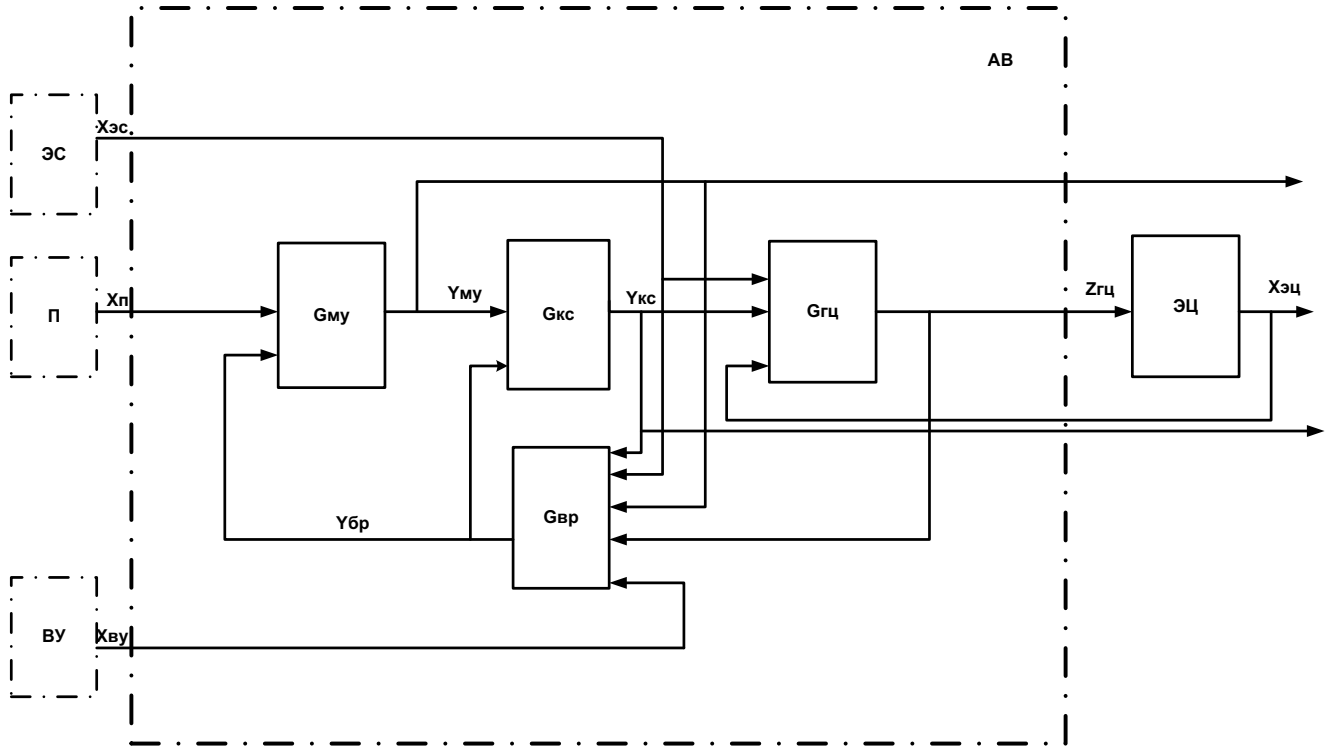


Рисунок 2.5 – Схема автоматов для устройств защитного отключения

Из указанных работ следует, что все функциональные схемы серийных УЗО можно разделить на два класса, в одном из которых реализуется принцип самовзвода механизма управления, а во втором взвод механизма осуществляется приводом. Как будет показано в дальнейшем, это приводит к различным входным алфавитам, внутренним состояниям и алгоритмам функционирования УЗО соответствующих классов. Поэтому построим две функциональные схемы с полным набором функциональных частей, одна из которых соответствовала бы самовзводным УЗО, а другая - несамовзводным.

Известны различные способы описания конечных автоматов: алгоритмическое описание в виде таблицы истинности, таблицы переходов, формул булевой алгебры, графа переходов и др.; структурное описание логической сетью из известных автоматов и смешанное описание.

Так как элементарные автоматы для УЗО в известной литературе широко не рассматриваются, то на первом этапе исследования представим их в виде схемы со структурными входными и выходными сигналами, а схемы автоматов с памятью дополним обратными связями и временными задержками.

Функциональная часть ГК состоит из трех функциональных групп, каждая из которых образована малоподвижным контактом 1 и подвижным контактом 2. Ее математическую модель представим в виде комбинационного автомата $G_{ГК}$ (Рисунок 2.6).

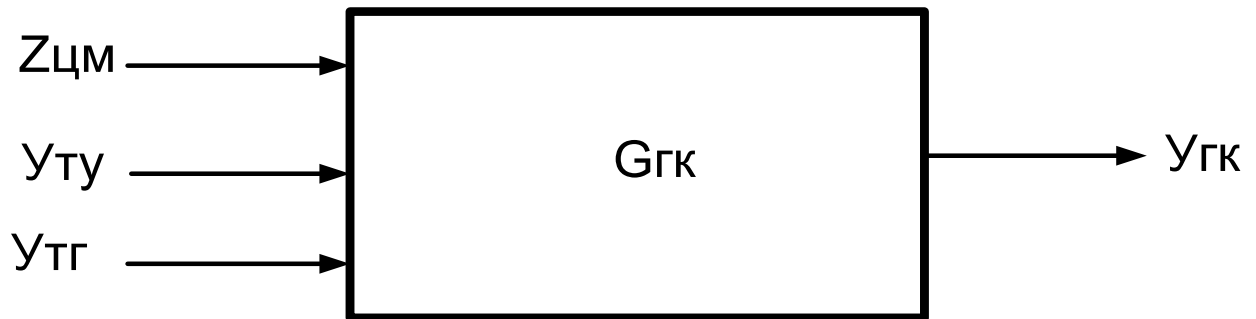


Рисунок 2.6 – Схема комбинационного автомата для главных контактов

Функциональное устройство РТ (Рисунок 2.7) состоит из электромеханических преобразователей $\text{ЭМ} = \{\text{ЭМ1}, \text{ЭМ2}, \text{ЭМ3}\}$ и механического усилителя УМ.

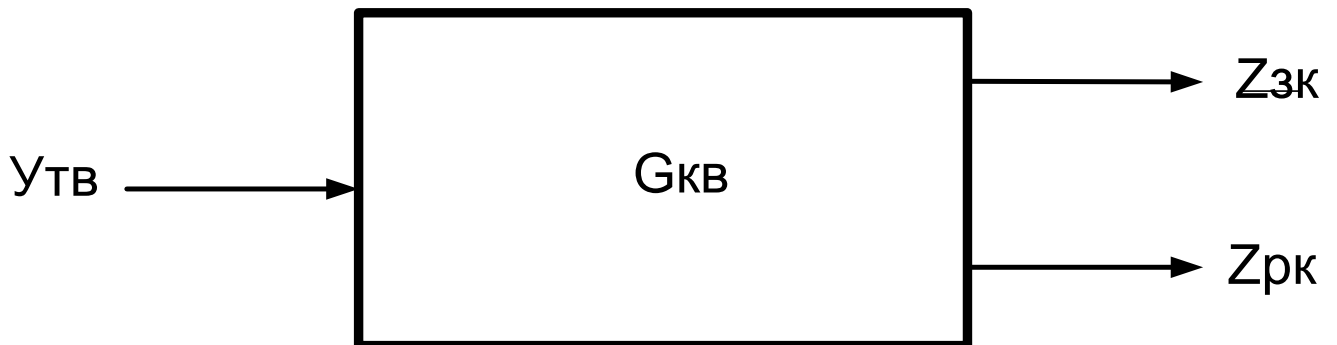


Рисунок 2.7 – Схема комбинационного автомата для вспомогательных контактов

Каждый преобразователь является элементом с памятью, имеющим временную задержку, а усилитель - релейным элементом с двумя устойчивыми состояниями. Поэтому математическую модель теплового расцепителя представим в виде конечного автомата $G_{рГ}$ с памятью (Рисунок 2.8).

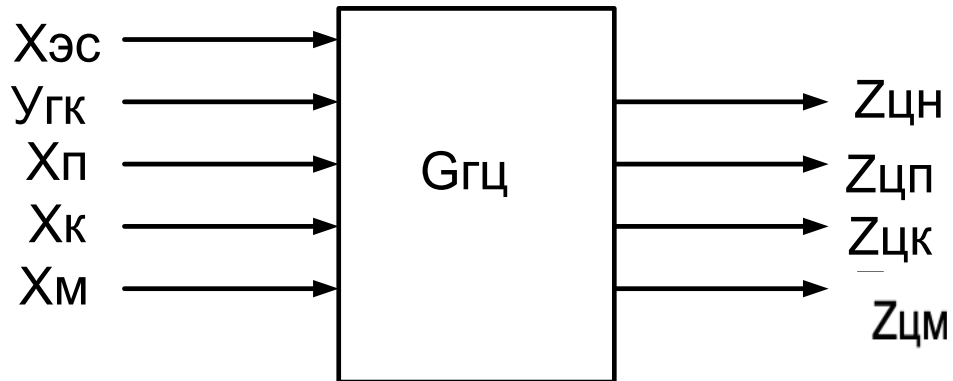


Рисунок 2.8 – Схема комбинационного автомата для главной цепи

Входными переменными автомата являются напряжение $x_{эс} = \{x_{эс1}, x_{эс2}, x_{эс3}\}$ проводимость главных контактов $y_{гк} = \{y_{гк1}, y_{гк2}, y_{гк3}\}$, проводимость перегрузки $x_n = \{x_{n1}, x_{n2}, x_{n3}\}$, проводимость короткого замыкания $x_k = \{x_{к1}, x_{к2}, x_{к3}\}$ и проводимость максимальной нагрузки $x_m = \{x_{м1}, x_{м2}, x_{м3}\}$.

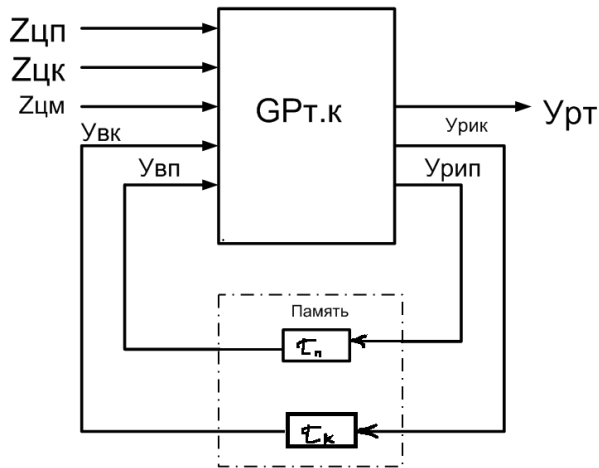
Выходными переменными автомата служат напряжение $z_{цн} = \{z_{цн1}, z_{цн2}, z_{цн3}\}$, ток перегрузки $z_{цп} = \{z_{цп1}, z_{цп2}, z_{цп3}\}$, ток короткого замыкания $z_{цк} = \{z_{цк1}, z_{цк2}, z_{цк3}\}$, и ток максимальной нагрузки $z_{цм} = \{z_{цм1}, z_{цм2}, z_{цм3}\}$.

На Рисунке 2.9 символом $G_{рГк}$ обозначена комбинационная часть автомата.

Полупроводниковый расцепитель РП включает три канала защиты: перегрузки, короткого замыкания и максимальной нагрузки, из которых первые два канала имеют временную задержку [106]. Поэтому его математическую модель представим конечным автоматом $G_{рп}$ с памятью (Рисунок 2.8). Временная задержка τ_n реализуется реле времени перегрузки с выходным сигналом $y_{вп}$, а временная задержка τ_k - реле времени короткого замыкания с выходным сигналом $y_{вк}$. На входы этих элементов поступают сигналы $u_{рпн}$ и $u_{рпк}$ соответственно от реле идентификации

тока перегрузки и тока короткого замыкания. Входными переменными автомата являются токи $z_{цп} = \{z_{цп1}, z_{цп2}, z_{цп3}\}$, $z_{цк} = \{z_{цк1}, z_{цк2}, z_{цк3}\}$, $z_{цм} = \{z_{цм1}, z_{цм2}, z_{цм3}\}$ соответственно перегрузки, короткого замыкания и максимальной нагрузки, а выходной переменной $u_{рп}$ - последовательность импульсов.

а)



б)

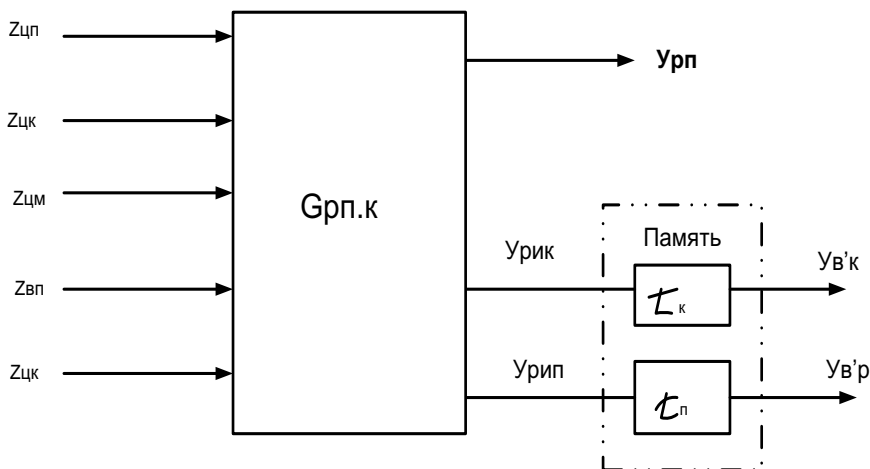


Рисунок 2.9 – Схема автомата с памятью для полупроводникового расцепителя:
а - автомат с памятью; б- комбинационный эквивалент;
 $G_{рп.к}$ – комбинационная часть.

Функциональная часть $PЭ = \{PЭ1, PЭ2, PЭ3\}$ представляет собой набор из трех одинаковых функциональных устройств $PЭ1, PЭ2, PЭ3$, имеющих независимые входы. Представим эту часть комбинационным автоматом $G_{рэ}$ (Рисунок 2.10) с

входными переменными $Z_{цк1}$, $Z_{цк2}$, $Z_{цк3}$ и выходными переменными $U_{рэ1}$, $U_{рэ2}$, $U_{рэ3}$, из которых первые три являются токами короткого замыкания в первом, втором и третьем полюсах, а вторые - соответствующими положениями якорей электромагнитов.

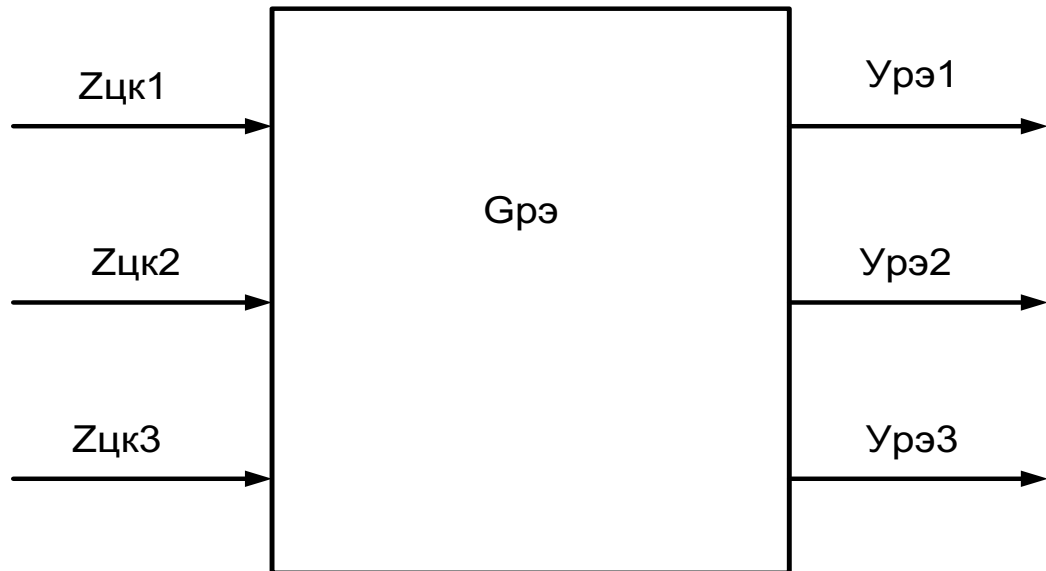


Рисунок 2.10 – Схема комбинационного автомата для блока электромагнитных расцепителей

Независимый расцепитель PH представляет собой электромагнит [18] со схемой независимых входов, на которую поступают напряжения $x_{бу}$ от внешнего устройства и $u_{рп}$ от полупроводникового расцепителя. На вход РН подается также сигнал $z_{зк}$, блокирующий сигналы $x_{бу}$ и $u_{рп}$, когда УЗО находится в отключенном или расцепленном состояниях. Представим это устройство комбинационным автоматом $G_{рН}$ с входными переменными $x_{бу}$, $u_{рп}$, $Z_{зк}$ и выходной переменной $u_{рп}$, соответствующей координате якоря электромагнита (Рисунок 2.10).

Функциональная часть $TU = \{TU1, TU2, TU3\}$ состоит из трех комбинационных устройств $TU1$, $TU2$, $TU3$, представляющих собой электродинамические элементы [46]. Представим эту часть УЗО комбинационным автоматом $G_{гУ}$ (Рисунок 2.11),

входными сигналами которого являются токи $Z_{цм1}$, $Z_{цм2}$, $Z_{цм3}$, а выходными сигналами - координаты $у_{ту1}$, $у_{ту2}$, $у_{ту3}$.

Расцепитель минимального напряжения РМ является устройством с двумя внутренними состояниями, одно из которых соответствует притяннутому положению якоря электромагнита, а другое - отпущенному. Память РМ реализуется посредством обратной связи. Поэтому представим это функциональное устройство автоматом $G_{рм}$ с памятью (Рисунок 2.11). Входными переменными автомата являются напряжения: включения $x_{нв}$ и отключения $x_{но}$, а также координата $у_{тр}$ траверсы. Выходной переменной автомата $G_{рм}$ является координата $у_{рм}$ якоря электромагнита, соответствующая двум его положениям.

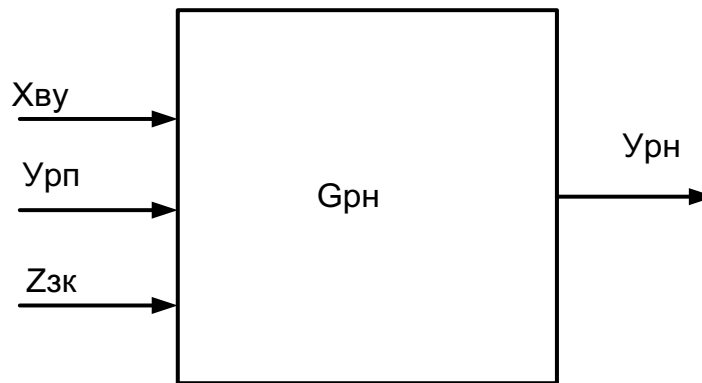


Рисунок 2.11 – Схема комбинационного автомата для независимого расцепителя

Функциональное устройство МН состоит из двух функциональных групп: механизма коммутации МК и механизма расцепления МР. Представим функциональное устройство МН автоматом $G_{мн}$ (Рисунок 2.12) с множествами $\{x_0, x_в, у_{рэ}, у_{рт}, у_{рн}, у_{рм}\}$, $\{у_{тр}, у_{тг}, у_{тв}, z_{но}, z_{нв}, z_{нр}, у_{кт}\}$, $\{у_{нк}, у_{зс}\}$ соответственно входных, выходных и внутренних переменных.

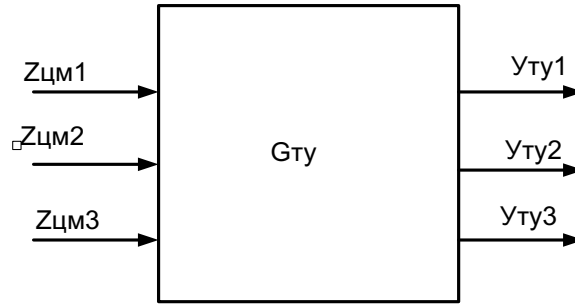
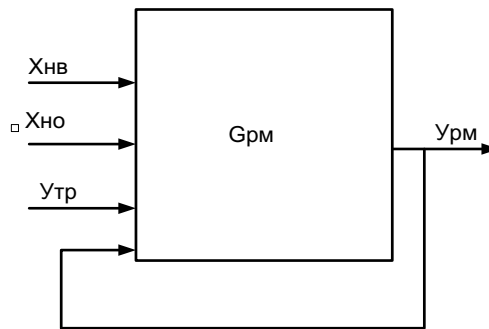


Рисунок 2.12 – Схема комбинационного автомата для блока токоограничивающих устройств

Схема самовзводного УЗО отличается от схемы несамовзводного (Рисунок 2.13) отсутствием токоограничивающих устройств ТУ, входными и выходными переменными, а также внутренними состояниями. Остальные функциональные части: ГЦ, ГК, КВ, РЭ, РТ, РМ, РН, РП в этих схемах совпадают.

а)



б)

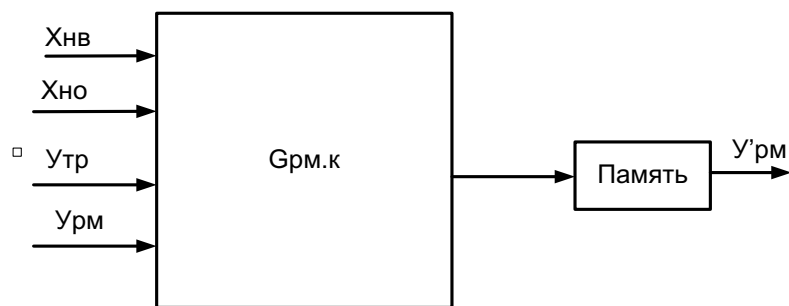


Рисунок 2.13 – Схема автомата с памятью для минимального расцепителя:

а – автомат с памятью;

б-комбинационный эквивалент автомата; $G_{pm.k}$ – комбинационная часть

Все различия между двумя классами УЗО связаны с принципом построения и алгоритмом функционирования механизмов управления. Поэтому для образования

полной системы элементарных автоматов, на основе которых путем композиции можно было бы получить математическую модель как самовзводного, так и несамовзводного УЗО, дополним описанные выше модели функциональных частей автоматом G_{mc} для самовзводного механизма управления МС (Рисунок 2.14).

Полученные одиннадцать схем образуют полную систему элементарных конечных автоматов, посредством композиции которых можно построить математическую модель любого УЗО [106].

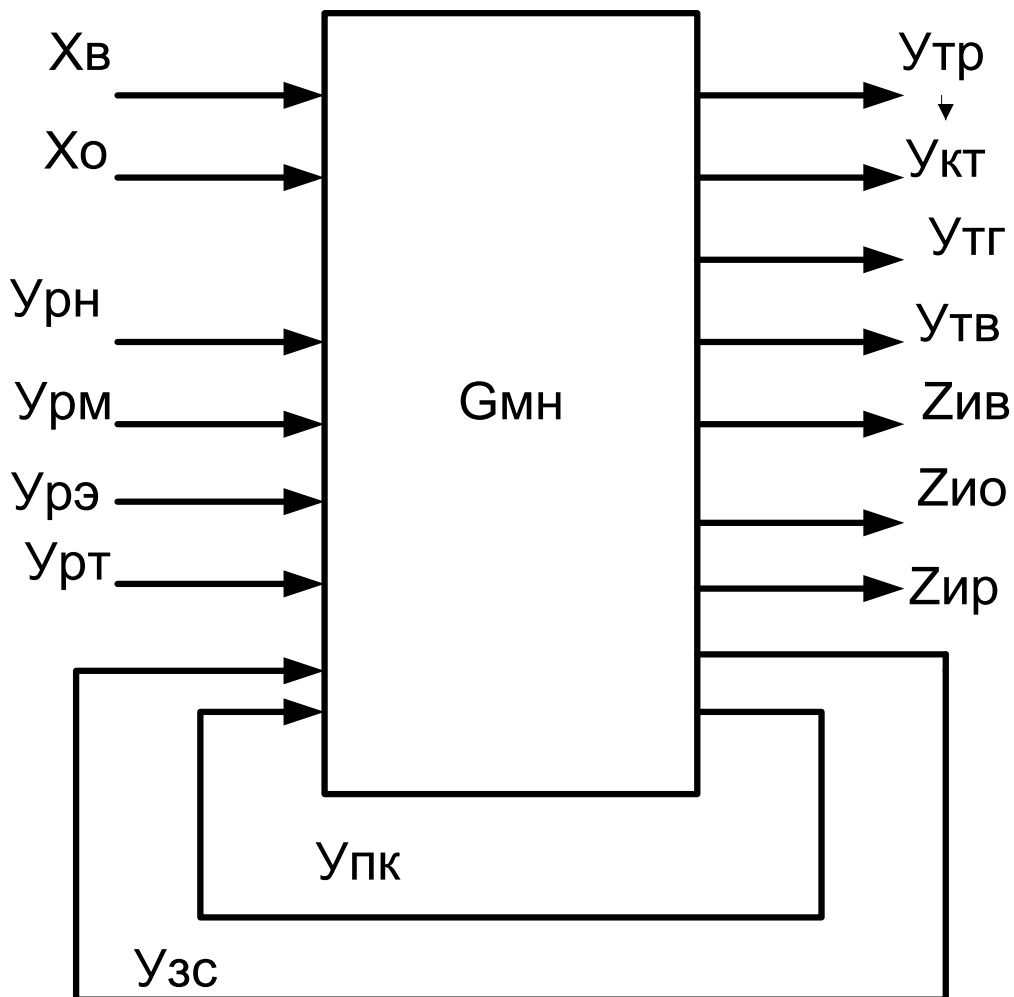


Рисунок 2.14 – Схема автомата с памятью для несамовзводного механизма управления

2.4.2. Синтез автомата для теплового расцепителя устройств защитного отключения

Математическими моделями функциональных частей ГК, КВ и ГЦ являются конечные комбинационные автоматы (Рисунок 2.15). При синтезе таких автоматов, вначале строится абстрактный автомат, описывается алгоритм функционирования. Затем, на основе полученного алгоритма устанавливается структура автомата в виде логической сети [106].

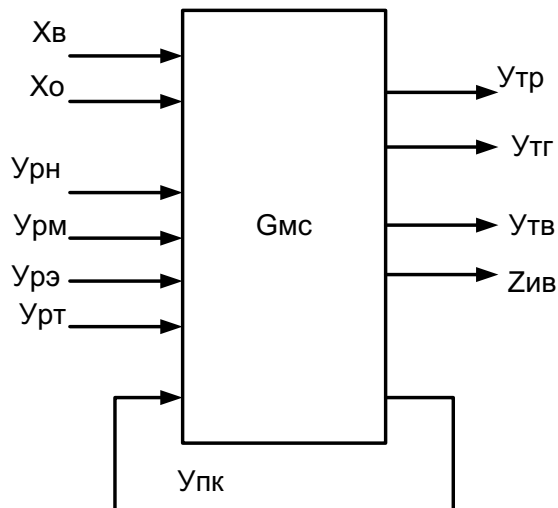


Рисунок 2.15 – Схема автомата с памятью для самовзводного механизма управления

Исходными данными для структурного синтеза логических конечных автоматов являются: полный набор логических элементов в любом базисе и необходимый набор элементов памяти. Известно, что на основе этих данных можно построить любой конечный автомат, в том числе асинхронный [17]. Для построения логических сетей в данной работе будем использовать логические функции И, ИЛИ, НЕ, а в качестве элементов памяти - те устройства, временные задержки и обратные связи, которых реализуются в конкретных функциональных частях.

Однако, описываемые функциональные части как логические элементы в известной литературе не рассматриваются. Поэтому при построении логических сетей разобьем функциональные части на логические элементы и определим для них логические функции. Если реальный элемент имеет несколько выходов, то его будем расщеплять на соответствующее число элементов так, чтобы каждый из них имел только один выход [106].

Главные контакты $ГК = \{ГК1, ГК2, ГК3\}$ имеют три входные переменные: максимальный ток $Z_{цм}$, силу воздействия $у_{ту}$ токоограничивающего устройства на малоподвижный контакт и координату $у_{тг}$ траверсы, воздействующую на подвижный контакт. Выходной переменной автомата $G_{ГК}$ является проводимость главных контактов $у_{ГК}$ (Рисунок 2.16).

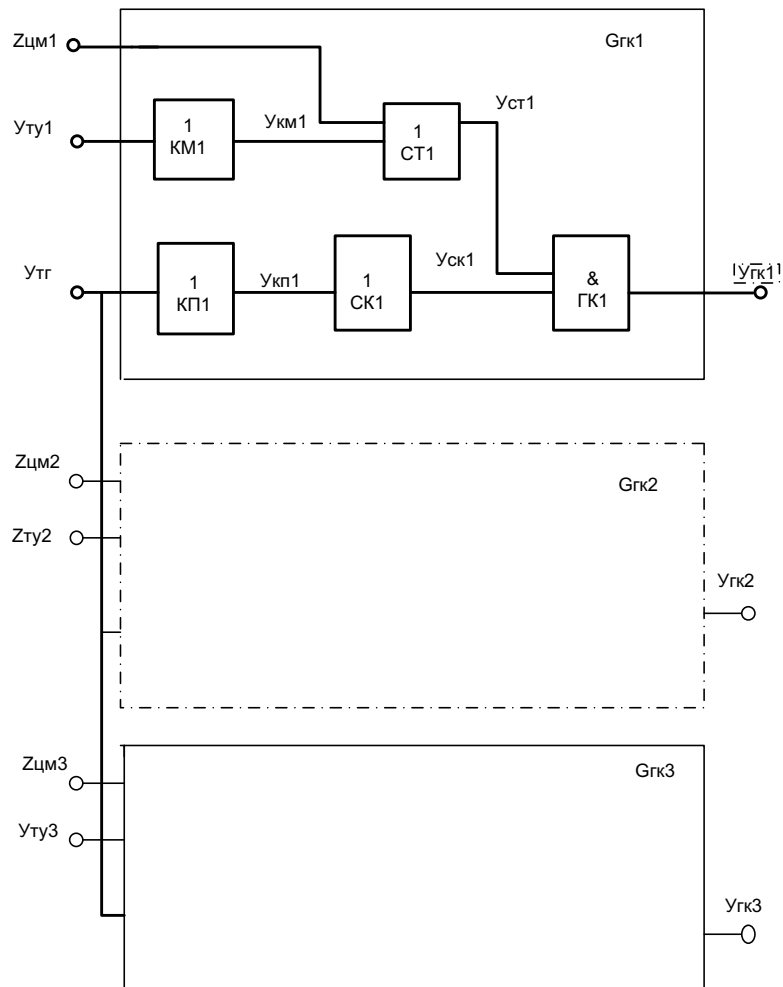


Рисунок 2.16 – Логическая сеть комбинационного автомата для главных контактов

Логическую функцию $y_{гк}$, определим по Таблице 2.1, согласно которой совершенная дизъюнктивная нормальная форма имеет вид

$$y_{гк} = y_{ту} \bar{y}_{ту} z_{цм} \vee y_{тг} y_{ту} \bar{z}_{цм} = y_{тг} z_{цм} (\bar{y}_{ту} \vee y_{ту}) \vee y_{тг} y_{ту} \bar{z}_{цм} = y_{тг} (z_{цм} \vee \bar{z}_{цм} y_{ту}),$$

отсюда получаем

$$y_{гк} = y_{тг} (z_{цм} \vee \bar{z}_{цм} y_{ту}), \quad (2.8)$$

или

$$y_{гк} = y_{тг} (z_{цм} \vee y_{ту}). \quad (2.9)$$

Таблица 2.1 – Таблица истинности автомата для главных контактов

| Входные переменные | | | Выходная функция |
|--------------------|----------|----------|------------------|
| $y_{тг}$ | $y_{ту}$ | $z_{цм}$ | $y_{гк}$ |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

Уравнение (2.9) показывает, что для построения логической сети автомата $G_{гк}$ необходимо иметь схему ИЛИ, реализующую дизъюнкцию $z_{цм} \vee y_{ту}$ и схему И для реализации конъюнкции (2.8). Кроме того в эту сеть могут входить повторители, которые не учитываются уравнением (2.9), но реально могут быть в функциональной части ГК.

Функциональную часть КВ разобьем на три логических элемента: механизм переключения МП, замыкающие контакты ЗК и размыкающие контакты РК. Первые два элемента являются повторителями, а элемент РК реализует функцию НЕ. Выходные переменные $z_{зк}$, $z_{рк}$ представляют собой электрическую проводимость соединения, соответственно, между замыкающими и размыкающими контактами. Логическая сеть автомата $G_{кв}$, приведена на Рисунке 2.17, а алгоритмическое описание в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Таблица истинности автомата для вспомогательных контактов

| Входные переменные | Выходные переменные | |
|--------------------|---------------------|----------|
| $У_{ТВ}$ | $Z_{ЗК}$ | $Z_{РК}$ |
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

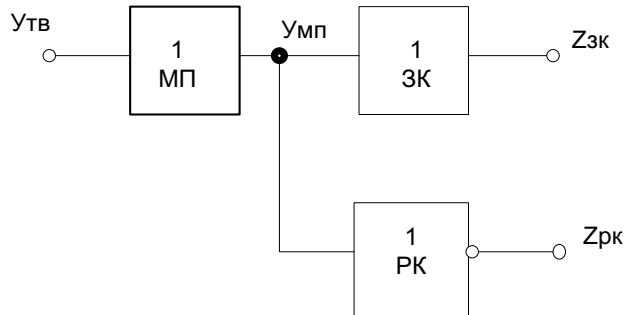


Рисунок 2.17 – Логическая сеть автомата вспомогательных контактов

Выходными переменными $G_{ГЦ}$ являются напряжение $z_{цн} = \{z_{цн1}, z_{цн2}, z_{цн3}\}$, ток перегрузки $z_{цп} = \{z_{цп1}, z_{цп2}, z_{цп3}\}$, ток короткого замыкания $z_{цк} = \{z_{цк1}, z_{цк2}, z_{цк3}\}$ и максимальный ток $z_{цм} = \{z_{цм1}, z_{цм2}, z_{цм3}\}$. Дадим алгоритмическое описание автомата $G_{ГЦ}$ в виде таблицы истинной (Таблица 2.3), в котором символ – обозначает, что значение переменной в данном наборе является несущественным.

Таблица 2.3 – Таблица истинности автомата для главной цепи

| Входные переменные | | | | | Выходные переменные | | | |
|--------------------|----------|-------|-------|-------|---------------------|----------|----------|----------|
| $X_{Эс}$ | $Y_{ГК}$ | X_M | X_K | X_H | $Z_{цн}$ | $Z_{цп}$ | $Z_{цк}$ | $Z_{цм}$ |
| 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 |

В этой таблице значения, равные 1, соответствуют истинности существования напряжений $x_{Эс}$, $z_{цн}$, проводимостей x_M , x_K , x_H и токов $z_{цп}$, $z_{цк}$, $z_{цм}$.

На основании этой таблицы определим выражения для выходных переменных $z_{цн}, z_{цп}, z_{цк}, z_{цм}$. Для напряжения $z_{цн}$ имеем два нулевых набора, которым соответствует совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ)

$$z_{цн} = x_{эс}y_{зк} . \quad (2.10)$$

Для тока перегрузки $z_{цп}$ имеем три единичных набора, на основании которых получаем следующую СДНФ:

$$\begin{aligned} X_{цп} &= x_{эс}y_{зк} (\bar{x}_m \bar{x}_k x_n \vee \bar{x}_m x_k \vee x_m) = x_{эс}y_{зк} (\bar{x}_m (\bar{x}_k x_n \vee x_k) \vee x_m) = x_{эс}y_{зк} (x_m \vee (\bar{x}_k x_n \\ &\vee x_k)) = x_{эс}y_{зк}(x_m \vee x_n \vee x_k), \text{ или} \\ Z_{цп} &= x_{эс}y_{зк}(X_m \vee X_n \vee X_k). \end{aligned} \quad (2.11)$$

Для тока короткого замыкания имеем два единичных набора и соответствующую СДНФ:

$$z_{цк} = x_{эс}y_{зк}(\bar{x}_m x_k \vee x_m) = x_{эс}y_{зк}(x_k \vee x_m)$$

или

$$Z_{цк} = x_{эс}y_{зк}(x_k \vee x_m). \quad (2.12)$$

Для максимального тока $z_{цм}$ существует только один единичный набор, которому соответствует выражение

$$Z_{цк} = x_{эс}y_{зк}x_m . \quad (2.13)$$

Полученная система логических выражений является аналитическим описанием алгоритма функционирования автомата $G_{зц}$. Логическая сеть, реализующая уравнения (2.8)... (2.13), приведена на Рисунке 2.18. Из сети следует, что функциональная часть ГЦ в каждом полюсе расщеплена на шесть логических элементов: $(ГЦ1 = \{ЦН1, ЦП1, ЦК1, ЦМ1, ПП1, ПК1\}, ГЦ2 = \{ЦН2, ЦП2, ЦК2, ЦМ2, ПП2, ПК2\}, ГЦ3 = \{ЦН3, ЦП3, ЦК3, ЦМ3, ПП3, ПК3\}$, где ЦН, ЦП, ЦК, ЦМ - цепи, соответственно, напряжения, тока перегрузки, тока короткого замыкания, максимального тока, а ПП, ПК - сумматоры проводимостей при перегрузке и коротком замыкании.

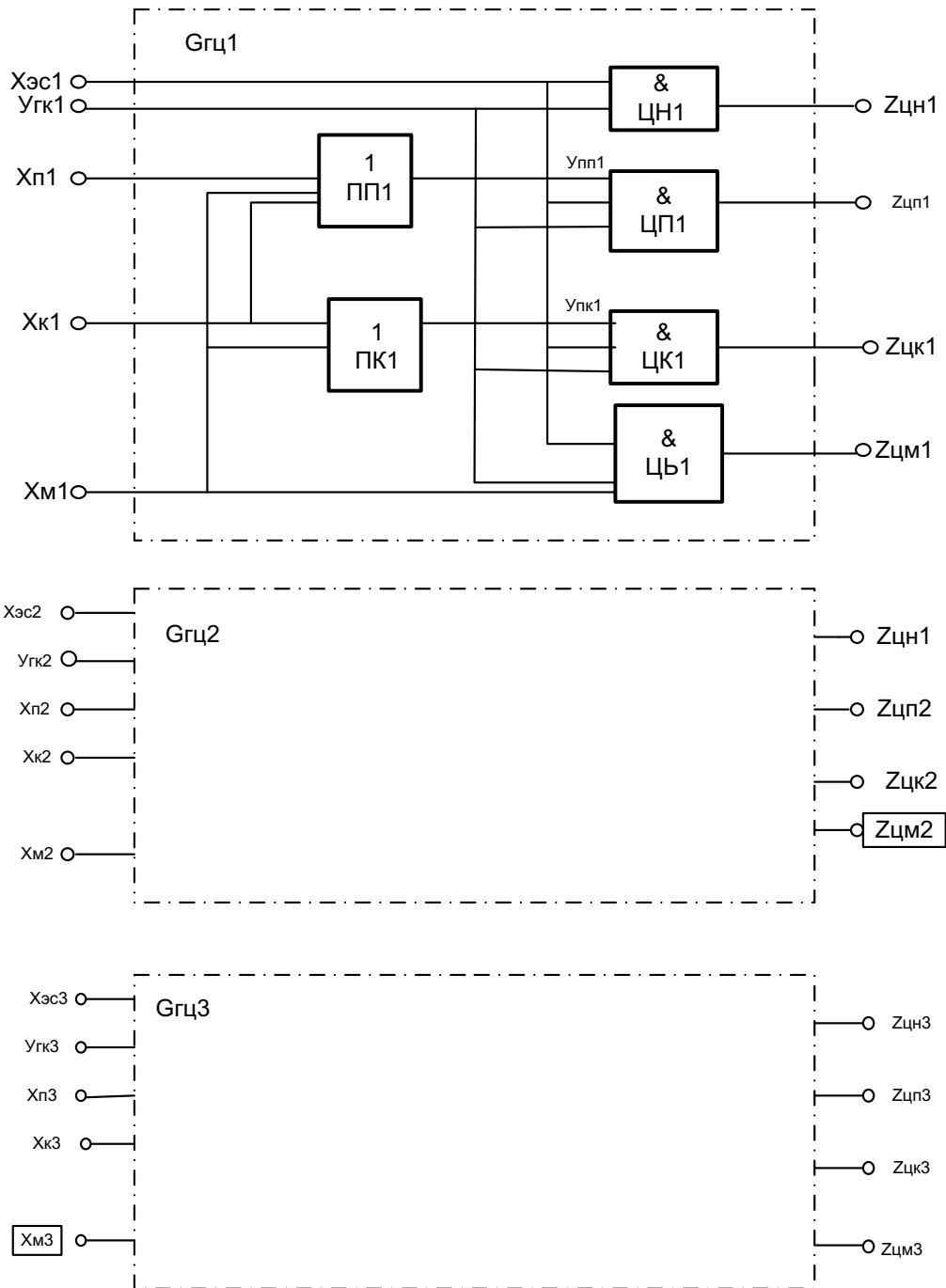


Рисунок 2.18 – Логическая сеть комбинационного автомата для главной цепи

Память автомата G_{pm} реализуется двумя внутренними переменными: координатой y_{zm} , возбуждаемой на выходе временной задержки τ_m и координатой y_{op} опорного рычага 1. Максимальное число внутренних состояний этого автомата равно $2^2 = 4$. Коды состояний приведены в Таблице 2.4, где значения координат y_{zm}

$= 0$, $y_{op} = 1$. Таблице соответствует множество $\{q_{xp}, q_{mc}, q_{mv}, q_{mn}\}$, элементами которого являются состояния: расцепленное – q_{mp} , сцепленное – q_{mc} , восстановления – q_{mv} и перегрузки – q_{mn} .

Таблица 2.4 – Коды внутренних состояний автомата G_{PT}

| Внутренние переменные | Коды состояний | | | |
|-----------------------|----------------|----------|----------|----------|
| | q_{tr} | q_{tc} | q_{tv} | q_{tp} |
| Y_{zt} | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Y_{op} | 0 | 1 | 0 | 1 |

Из Рисунка 2.19 следует, что комбинационный эквивалент автомата G_{PT} имеет четыре входные переменные: y_{zt} , y_{op} , $z_{цп}$, $y_{кт}$.

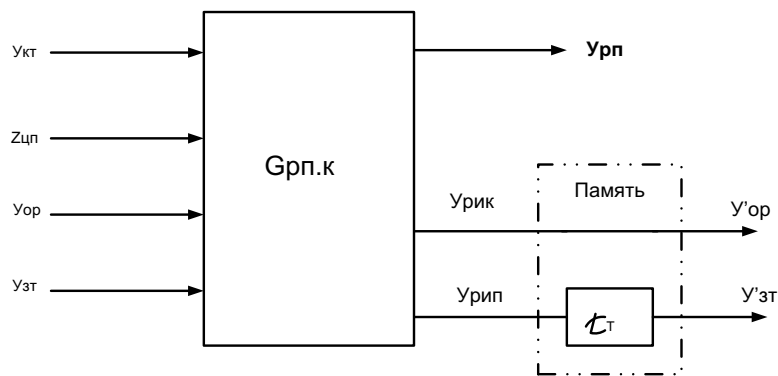


Рисунок 2.19 – Схема комбинационного автомата для теплового расцепителя:
 $G_{PT.K}$ – комбинационная часть

Поэтому принципиально можно образовать $2^4 = 16$ входных наборов. Для выявления наборов, используемых в данном автомате, разработаем тактовую таблицу, соответствующую рабочему алгоритму функционирования расцепителя РТ. При этом за начальное состояние примем изображенное на Рисунке 2.20 сцепленное состояние q_{mc} и будем переходить из него во все другие состояния до тех пор, пока не вернемся снова в начальное. По пути следования, находясь в любом состоянии, будем использовать все возможные маршруты перемещения в другие состояния. Очевидно, что в процессе перемещения из состояния $q(t)$ в состояние $q(t+1)$ будут

реализованы: функция переходов $\delta(q(t), a(t) = q(t+1))$ и функция выходов $\lambda(q(t), a(t) = v(t))$, где $a(t) = (z_{цп}, y_{кт})$ - набор значений $\{0, 1\}$ переменных $z_{цп}, y_{кт}$, $v(t) = y_{пт}$ - выходной набор.

Начальное состояние $q_{мс}$ является устойчивым к набору $a_{m1} = (00)$, под воздействием которого автомат $G_{пт}$ реализует функции $\delta(q_{мс}, a_{11}) = q_{мс}$, $\lambda(q_{мс}, a_{11}) = y_{пт} = 0$ (Таблица 2.5).

Из состояния $q_{мс}$ автомат может перейти только в состояние перегрузки q_{mn} по сигналу $a_{m2} = (10)$. Образованное состояние q_{mn} неустойчиво к a_{m2} , поэтому в следующем такте реализуется функция $\delta(q_{mn}, a_{12}) = q_{мв}$ и автомат переходит в новое состояние $q_{мв}$, устойчивое к a_{m2} .

Из состояния восстановления $q_{мв}$ автомат может перейти только в расцепленное состояние $q_{тп}$ под воздействием набора a_{m1} , по отношению к которому новое состояние является устойчивым [79].

Таблица 2.5 – Тактовая таблица функционирования теплового расцепителя

| t | q(t) | a(t) | Входные переменные | | Y _{пт} | q(t+1) |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | Z _{цп} | Y _{кт} | | |
| t ₀ | q _{тс} | a _{т1} | 0 | 0 | 0 | q _{тс} |
| t ₁ | q _{тс} | a _{т2} | 1 | 0 | 0 | q _{тс} |
| t ₂ | q _{тп} | a _{т2} | 1 | 0 | 1 | q _{тв} |
| t ₃ | q _{тв} | a _{т2} | 1 | 0 | 1 | q _{тв} |
| t ₄ | q _{тв} | a _{т1} | 0 | 0 | 1 | q _{тп} |
| t ₅ | q _{тп} | a _{т1} | 0 | 0 | 1 | q _{тп} |
| t ₆ | q _{тп} | a _{т3} | 0 | 1 | 0 | q _{тс} |
| t ₇ | q _{тс} | a _{т3} | 0 | 1 | 0 | q _{тс} |
| t ₈ | q _{тс} | a _{т1} | 0 | 0 | 0 | q _{тс} |

Из состояния $q_{тп}$ автомат однозначно переходит в начальное состояние $q_{тс}$. При этом используется набор a_{m3} , по отношению к которому, сцепленное состояние

является устойчивым. На этом заканчивается полный цикл возможных переходов. На основании тактовой таблицы построены таблица переходов (Таблица 2.6) и граф переходов (Рисунок 2.20) автомата G_{pm} .

Из тактовой таблицы следует, что в рабочем алгоритме функционирования автомата используются наборы a_{m1}, a_{m2}, a_{m3} и состояния $q_{mc}, q_{mn}, q_{mv}, q_{mp}$, из которых образуются восемь входных наборов $\{(q_{mp}, a_{m1}), (q_{mp}, a_{m3}), (q_{mc}, a_{m1}), (q_{mc}, a_{m3}), (q_{mc}, a_{m2}), (q_{mv}, a_{m1}), (q_{mv}, a_{m2}), (q_{mn}, a_{m2})\}$.

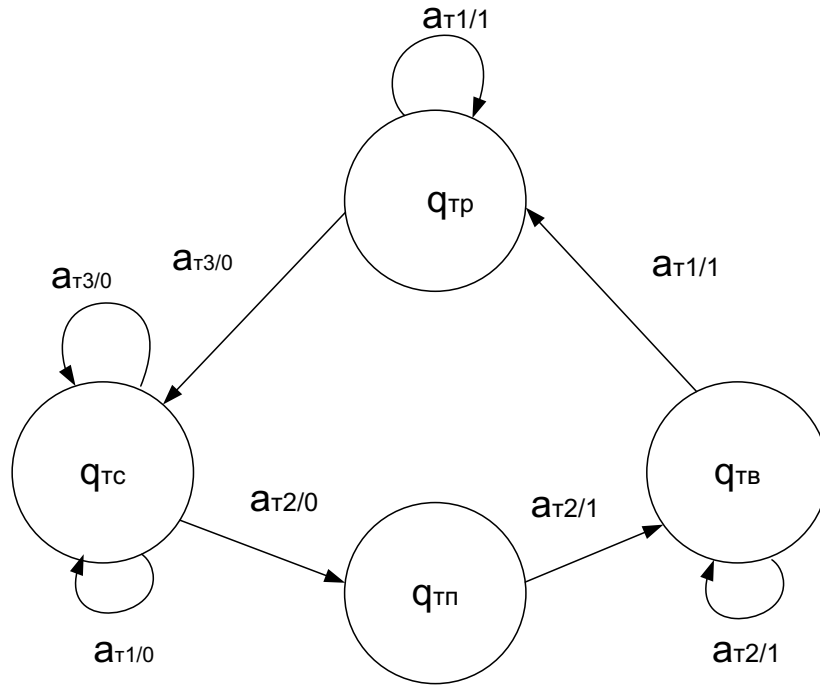


Рисунок 2.20 – Граф переходов автомата для теплового расцепителя

Таблица 2.6 – Таблица переходов автомата G_{pt}

| $q(t+1), y_{pm}$ | Входные наборы | | |
|------------------|----------------|-------------|-------------|
| | a_{t1} | a_{t2} | a_{t3} |
| q_{tr} | $q_{tr}, 1$ | | $q_{tc}, 0$ |
| q_{tc} | $q_{tc}, 0$ | $q_{tp}, 0$ | $q_{tc}, 0$ |
| q_{tv} | $q_{tr}, 1$ | $q_{tv}, 1$ | |
| q_{tp} | | $q_{tv}, 1$ | |

На основании полученных наборов и Таблицы 2.4, 2.5, 2.6 построена таблица истинности (Таблица 2.7), описывающая абстрактный автомат G_{pm} .

Первым шагом для структурного синтеза является получение системы уравнений для функции выходов $\lambda(q,a)=v$ и системы уравнений для функций переходов $\delta(q,a)=q(t+1)$.

Таблица 2.7 – Таблица истинности автомата G_{pt}

| Входные переменные | | | | Выходные переменные | | |
|--------------------|----------|----------|----------|---------------------|-----------|-----------|
| $Y_{зг}$ | Y_{op} | $Z_{цп}$ | $Y_{кт}$ | Y_{pt} | $Y'_{зг}$ | Y'_{op} |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Для автомата G_{pt} функция выходов $\lambda(y_{зг}, y_{op}, y_{кт}) = y_{pt}(t)$, а функция переходов $\delta(y'_{зг}, y'_{op}, z_{цп}, y_{кт}) = (y'_{зг}, y'_{op})$. Уравнения этих функций получим из Таблицы. 2.7.

Функция y_{pt} соответствуют три единичных набора (где переменная $z_{цп}$ исключается), для которых СДНФ имеет вид:

$$Y_{pt} = \bar{y}_{зг} \bar{y}_{op} y_{кт} \vee y_{зг} \bar{y}_{op} \bar{y}_{кт} \vee y_{зг} y_{op} \bar{y}_{кт} = \bar{y}_{op} \bar{y}_{кт} (\bar{y}_{зг} \vee y_{зг}) \vee y_{зг} y_{op} \bar{y}_{кт} = \bar{y}_{кт} (\bar{y}_{op} \vee y_{зг} y_{op}).$$

Применив к обеим частям последнего выражения операцию отрицания, и, используя закон де Моргана, получим

$$Y_{pt} = \bar{y}_{кт} (\bar{y}_{зг} \vee y_{зг} y_{op}) = y_{кт} \vee (\bar{y}_{op} \vee y_{зг} y_{op}) = y_{кт} \vee (y_{op} (\bar{y}_{зг} \vee \bar{y}_{op})) = y_{кт} \vee (y_{op} \bar{y}_{зг} \vee y_{op} y_{op}) = y_{кт} \vee y_{op} \bar{y}_{зг}.$$

Используя повторно операцию отрицания, окончательно получаем:

$$Y_{pt} = Y_{кт} \vee Y_{op} \bar{Y}_{зг}. \quad (2.14)$$

Из Таблицы 2.7 видно, что $y'_{op} = \bar{y}_{pt}$, отсюда

$$Y'_{op} = Y_{km} \vee y_{op} \bar{y}_{zm}. \quad (2.15)$$

Переменная y'_{zm} повторяет $z_{цп}$, следовательно

$$Y'_{zm} = Z_{цп}. \quad (2.16)$$

Учитывая, что $z_{цп} = z_{цп1} \vee z_{цп2} \vee z_{цп3}$, $y_{zm} = y_{zm1} \vee y_{zm2} \vee y_{zm3}$ из уравнений (2.14) и (2.17) получаем выражения:

$$Y_{pm} = Y_{km} \vee Y_{op}(Y_{zm1} \vee Y_{zm2} \vee Y_{zm3}), \quad (2.17)$$

$$Y'_{op} = Y_{km} \vee Y_{op}(Y_{zm1} \vee Y_{zm2} \vee Y_{zm3}), \quad (2.18)$$

а из (2.10) - систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y'_{зт1} &= z_{цп1} \\ y'_{зт2} &= z_{цп2} \\ y'_{зт3} &= z_{цп3} \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

Для построения логической сети необходимо иметь две системы уравнений [19]: уравнения функций выходов и уравнения функций возбуждения.

Для автомата G_{pm} выходные функции представлены одним уравнением (2.19). Этот автомат содержит два запоминающих элемента - временную задержку τ_m и устройство памяти УП, выходные функции которых в момент $(t+1)$ равны соответственно y'_{zm} и y'_{op} . Значения функций возбуждения в момент t всегда равны значениям выходных функций, соответствующих элементов памяти в момент $(t+1)$ [106].

Построение логической сети начнем с реализации уравнений (2.19). Учитывая, что расцепитель РТ содержит три временные задержки m , построим три параллельные сети (Рисунок 2.21), реализующие уравнения (2.20). Так как функция возбуждения имеет вид

$$Y_{эм} = y'_{zm} = Z_{цп}, \quad (2.21)$$

где $y_{эм}$ - выходной сигнал электротермического преобразователя ЭТ, то, очевидно, что преобразователь ЭТ является повторителем. Поэтому введем три

логических элемента: ЭТ1, ЭТ2, ЭТ3, на входы которых поступают токи перегрузки $Z_{цп1}, Z_{цп2}, Z_{цп3}$, а на выходах возбуждаются тепловые потоки $y_{эм1}, y_{эм2}, y_{эм3}$.

Теперь реализуем уравнение (2.21). Дизъюнкция $(y_{эм1} \vee y_{эм2} \vee y_{эм3}) = y_{pp}$ отображается логическим элементом РР, которому в расцепителе соответствует рейка 5. На три независимых входа рейки воздействуют упоры 3 термомеханических преобразователей, представленных в логической сети повторителями ТМ1, ТМ2, ТМ3. Эти элементы, как и любые повторители, не могут быть выявлены из уравнений, так как они не влияют на алгоритм функционирования расцепителя. Мы их вводим в сеть на основании функциональной схемы. Реальный термомеханический преобразователь расщеплен на комбинационный элемент ТМ и временную задержку τ_T .

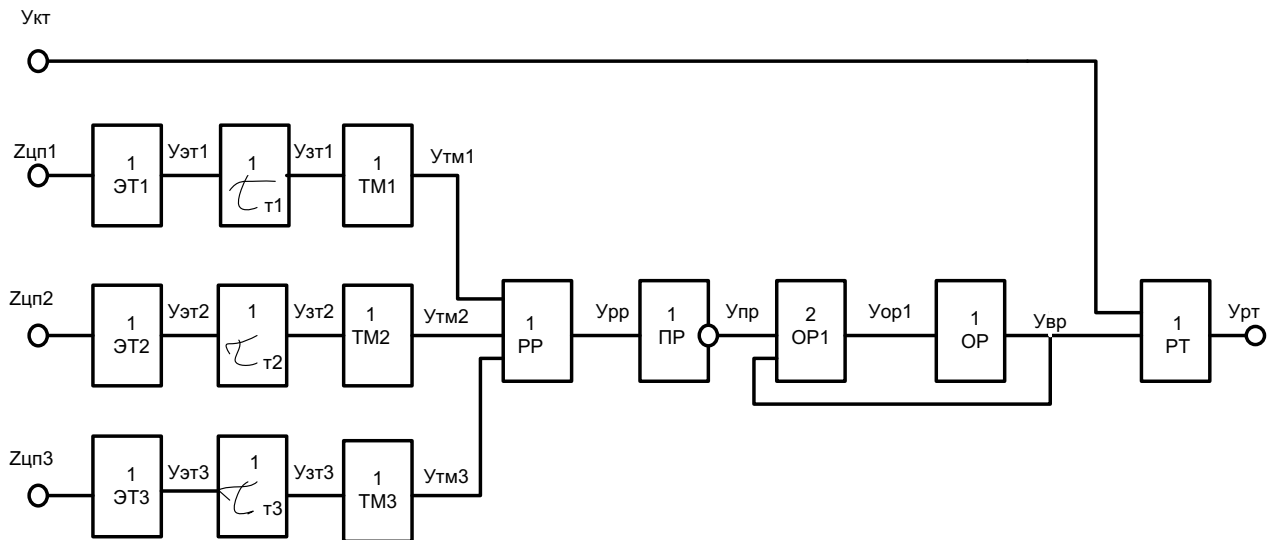


Рисунок 2.21 – Логическая сеть автомата для теплового расцепителя

Для реализации уравнения (2.21) в построенную логическую сеть необходимо ввести инвертор.

Из построенной сети видно, что элементы ОР1 и ОР охвачены обратной связью, посредством которой реализуются два состояния элемента памяти ЭП. В

этом случае переменная y_{op} описывает состояние элемента в такте t , а переменная y'_{op} в такте $(t+1)$.

2.4.3. Синтез автоматов для блока электромагнитных расцепителей, блока токоограничивающих устройств, независимого и минимального расцепителей

Блок электромагнитных расцепителей представляет собой функциональную часть, образованную параллельным соединением трех одинаковых комбинационных устройств РЭ1, РЭ2, РЭ3. Эти расцепители реализуют функции

$$\left. \begin{aligned} y_{pэ1} &= z_{цк1} \\ y_{pэ2} &= z_{цк2} \\ y_{pэ3} &= z_{цк3} \end{aligned} \right\}, \quad (2.22)$$

где значения координат $y_{pэ1} = 1$, $y_{pэ2} = 1$, $y_{pэ3} = 1$ соответствуют притянutoму положению якорей электромагнитов, а значения $z_{цк1} = 1$, $z_{цк2} = 1$, $z_{цк3} = 1$ – присутствию на входах расцепителей токов короткого замыкания.

Система уравнений (2.22) является описанием алгоритма функционирования, которому соответствует логическая сеть (Рисунок 2.24), представляющая собой композицию из трех одинаковых сетей (автоматов): $G_{pэ1}$, $G_{pэ2}$, $G_{pэ3}$. Каждая сеть состоит из двух логических элементов – повторителя ОЭ и повторителя ЯЭ, реализуемых соответственно обмоткой и якорем электромагнита.

Блок токоограничивающих устройств представляет собой функциональную часть, образованную параллельным соединением трех одинаковых комбинационных элементов: к ТУ1, ТУ2, ТУ3 с отдельными входами и выходами. Эти элементы реализуют соответственно функции.

$$\left. \begin{aligned} Y_{ту1} &= \bar{z}_{цм1} \\ Y_{ту2} &= \bar{z}_{цм2} \\ Y_{ту3} &= \bar{z}_{цм3} \end{aligned} \right\}, \quad (2.23)$$

где значения $y_{my1} = 1, Y_{my2} = 1, Y_{my3} = 1$ приняты для отпущенного положения контактодержателя, а $z_{цм1} = 1, z_{цм2} = 1, z_{цм3} = 1$ - области максимальных токов. Логическая сеть этого автомата состоит из трех параллельно соединенных инверторов: ТУ1, ТУ2, ТУ3 (Рисунок 2.25).

Независимый расцепитель представляет собой комбинационное устройство, на входы которого подаются: напряжение $x_{вУ}$ от внешнего устройства, импульсы $у_{рп}$ от полупроводникового расцепителя и проводимость $z_{зк}$ от вспомогательных контактов. Его математической моделью служит комбинационный автомат $G_{рп}$ (Рисунок 2.22), алгоритм функционирования которого опишем таблицей истинности (Таблица 2.8).

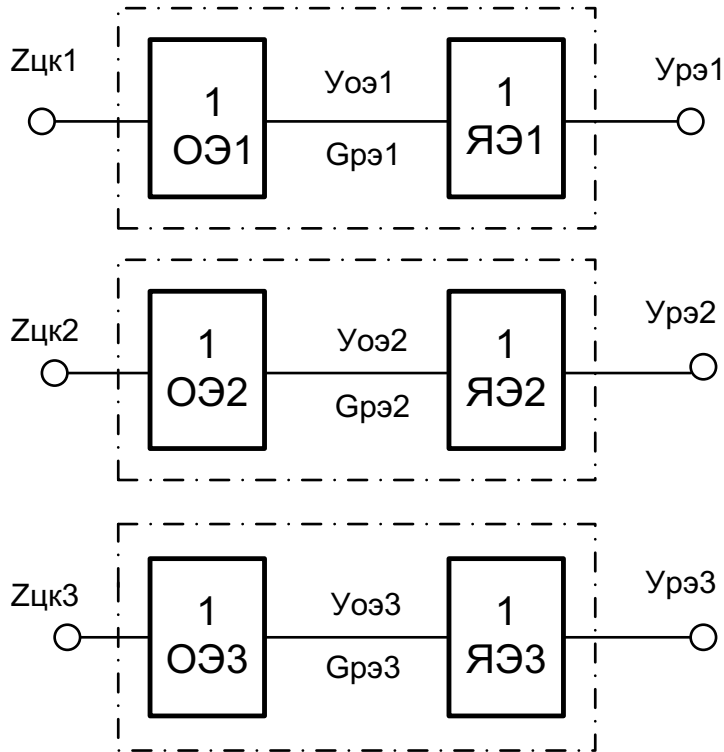


Рисунок 2.22 – Логическая сеть автомата для блока электромагнитных расцепителей

Таблица 2.8 – Таблица истинности автомата G_{pn}

| Входные переменные | | | Выходная функция |
|--------------------|----------|----------|------------------|
| x_{by} | u_{pn} | z_{zk} | u_{pn} |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

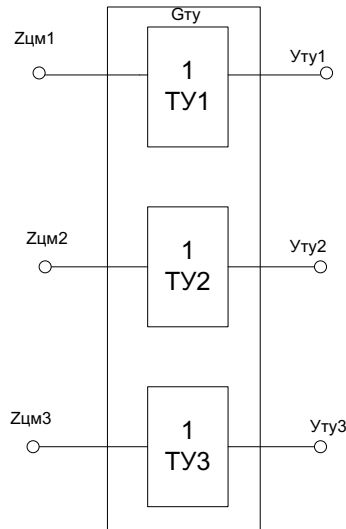
Выражение для функции u_{pn} представим полученной из Таблицы 2.8 дизъюнктивной нормальной формой:

$$u_{pn} = \bar{x}_{by} u_{pn} z_{zk} \vee x_{by} \bar{u}_{pn} z_{zk} \vee x_{by} u_{pn} z_{zk} = z_{zk} (\bar{x}_{by} u_{pn} \vee x_{by} (\bar{u}_{pn} \vee u_{pn})) = z_{zk} (\bar{x}_{by} u_{pn} \vee x_{by}) = z_{zk} (x_{by} \vee u_{pn}),$$

откуда получаем выражение

$$u_{pn} = z_{zk} (x_{by} \vee u_{pn}). \quad (2.22)$$

Уравнение (2.22) показывает, что для построения логической сети автомата G_{pn} необходимы два логических элемента (Рисунок 2.23): элемент ИЛИ, реализующий дизъюнкцию $x_{by} \vee u_{pn}$ и элемент И, реализующий конъюнкцию $z_{zk} (x_{by} \vee u_{pn})$.

Рисунок 2.23 – Логическая сеть автомата G_{mu} для блока токоограничивающих устройств

В реальном расцепителе логическим элементом ИЛИ служит схема входов СВ, а элементом И - катушка КН. Кроме того, в этом устройстве есть повторитель в виде якоря ЯН. На Рисунке 2.24 построена схема, описанная уравнением (2.22) с учетом наличия реального элемента ЯН.

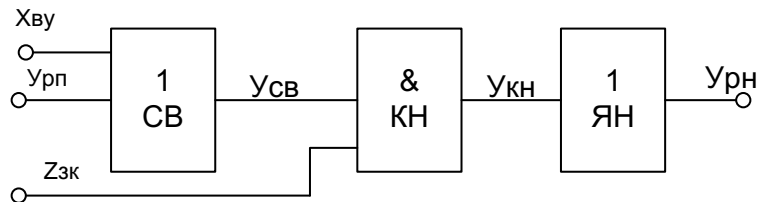


Рисунок 2.24 – Логическая сеть автомата G_{pm}

Разорвем условно в этой схеме обратную связь u_{pm} и представим автомат G_{pm} комбинационным эквивалентом с входными переменными $x_{нв}$, $x_{но}$, $u_{тр}$, u_{pm} из которых первые три - внешние переменные, определяющие состояние u'_{pm} в момент $(t+1)$, а u_{pm} - внутренняя переменная, описывающая его состояние в момент t .

Из значений входных переменных можно образовать $2^4 = 16$ входных наборов. Для выявления существенных наборов составим тактовую таблицу функционирования расцепителя РМ (Таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Тактовая таблица функционирования автомата G_{pm}

| t | q(t) | a(t) | Входные переменные | | | У'_{pm} | q(t+1) |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------|--------|---------|-----------------|
| | | | У_{тр} | х_{нв} | х_{но} | | |
| t ₀ | q _{пр} | a _{м1} | 0 | ~ | ~ | 0 | q _{пр} |
| t ₁ | q _{пр} | a _{м2} | 1 | 0 | 0 | 0 | q _{пр} |
| t ₂ | q _{пр} | a _{м3} | 1 | 1 | 0 | 0 | q _{пр} |
| t ₃ | q _{пр} | a _{м4} | 1 | 0 | 1 | 1 | q _{от} |
| t ₄ | q _{от} | a _{м4} | 1 | 0 | 1 | 1 | q _{от} |
| t ₅ | q _{от} | a _{м2} | 1 | 0 | 0 | 1 | q _{от} |
| t ₆ | q _{от} | a _{м3} | 1 | 1 | 0 | 0 | q _{пр} |
| t ₇ | q _{от} | a _{м1} | 0 | ~ | ~ | 0 | q _{пр} |

Из этой таблицы следует, что в рабочем алгоритме функционирования расцепителя используются следующие наборы: $(q_{np} a_{m1})$, $(q_{np} a_{m2})$, $(q_{np} a_{m3})$, $(q_{np} a_{m4})$, $(q_{от} a_{m2})$, $(q_{от} a_{m3})$, $(q_{от} a_{m4})$, где $q_{np} = \bar{y}_{рм} = 0$ - притянутое состояние якоря расцепителя; $q_{от} = y_{рм} = 1$ - отпущенное состояние якоря; $y_{тр} = 1$ - координата траверсы 10 (см. Рисунок 2.24), соответствующая включенному состоянию $x_{нв} = 1$ - напряжение, при котором расцепитель переключается из отпущенного состояния в притянутое, а $x_{но} = 1$ - напряжение, при котором происходит обратное переключение расцепителя.

На основании тактовой таблицы построены: таблица истинности (Таблица 2.8), таблица переходов (Таблица 2.9) и граф переходов (Рисунок 2.25).

Таблица 2.10 – Таблица истинности автомата $G_{рм}$

| Входные переменные | | | | Выходная переменная |
|--------------------|----------|----------|----------|---------------------|
| $Y_{рм}$ | $Y_{тр}$ | $X_{нв}$ | $X_{но}$ | $Y'_{рм}$ |
| 0 | 0 | ~ | ~ | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | ~ | ~ | 0 |

Аналитическое выражение для выходной переменной $y'_{рм}$ представим следующей СДНФ:

$$\begin{aligned}
 Y'_{рм} &= \bar{y}_{рм} y_{тр} \bar{x}_{нв} x_{но} \vee y_{рм} y_{тр} \bar{x}_{нв} x_{но} \vee y_{рм} y_{тр} \bar{x}_{нв} x_{но} = \\
 &= y_{тр} \bar{x}_{нв} (y_{рм} \vee \bar{y}_{рм} x_{но}) = y_{тр} \bar{x}_{нв} (y_{рм} \vee x_{но})
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

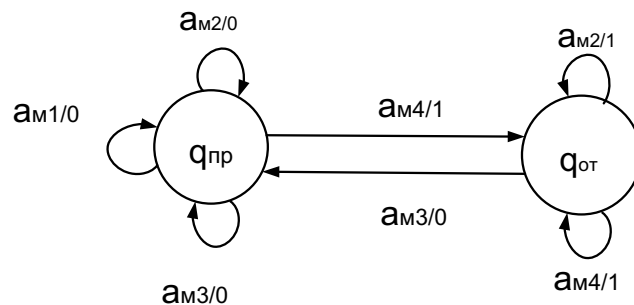


Рисунок 2.25 – Граф переходов автомата для минимального расцепителя

Таблица 2.11 – Таблица переходов автомата G_{pm}

| $q(t+1)/Y'_{pm}$ | Входные наборы | | | |
|------------------|----------------|------------|------------|------------|
| | a_{m1} | a_{m2} | a_{m3} | a_{m4} |
| $q_{пр}$ | $q_{пр}/0$ | $q_{пр}/0$ | $q_{пр}/0$ | $q_{от}/1$ |
| $q_{от}$ | - | $q_{от}/1$ | $q_{пр}/0$ | $q_{от}/1$ |

Полученное уравнение

$$y'_{pm} = y_{mp} \bar{x}_{nv} (y_{pm} \vee x_{no}) \quad (2.24)$$

позволило построить логическую сеть автомата G_{pm} . В реальном расцепителе катушка КТ выполняет две логические функции: \bar{x}_{nv} и $(y_{pm} \vee x_{no})$, поэтому в построенной сети она расщеплена на два логических элемента - КТ1 и КТ2.

Выводы по главе 2

1. Определены внешние связи устройств защитного отключения в системах защиты и пожарной безопасности электроустановок промышленных объектов. Предложен функциональный подход для электроустановок напряжением до 1кВ, который заключается в исследовании реализуемых объектом функций без учета его внутренней структуры. При этом подходе выявляются внешние связи объекта и соответствующие им входные и выходные переменные, определяется характер обработки входной информации и находятся функциональные зависимости, реализуемые объектом.

2. На основе теоретико-автоматной модели функционирования устройств защитного отключения определена полная система элементарных автоматов для построения логических сетей. Математическая модель объекта представляет собой композицию моделей.

3. Построен граф переходов автомата для теплового расцепителя и граф переходов автомата для минимального расцепителя, что также математически позволило построить логическую сеть автомата устройства защитного отключения.

ГЛАВА 3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ

3.1. Вероятностный подход и методы анализа и оценки надежности устройств защитного отключения

Определение недостаточно надежных элементов производственных технологий и мест установки схем, блокирующих предпосылки аварий, на практике обычно осуществляется с использованием «деревьев отказов».

Авария может произойти при различных комбинациях (сочетаниях) неблагоприятных событий на различных элементах этой системы. В соответствии с кодами, присвоенными каждому элементу на Рисунке 3.1, возможность осуществления главного события A – «авария» (включая пожар), определяется следующей логической формулой:

$$A = (D \cup E) \cap (F \cup G) = [(H \cap I) \cup (K \cup J)] \cap [(M \cap L) \cup G] \quad (3.1)$$

На Рисунке 3.1 изображено дерево событий, характеризующее сценарий возникновения крупномасштабной аварии – возникновение пожара по электротехническим причинам (пожар в электрооборудовании).

По существу, дерево событий (отказов) представляет собой сценарий развития ситуации, в результате которого возможно возникновение неблагоприятного события. Заметим также, что построение дерева событий одновременно позволяет определить значение вероятности возникновения результирующего неблагоприятного события [106].

В большинстве случаев первоочередными мерами обеспечения безопасности, как правило, являются меры предупреждения аварии. Выбор планируемых для внедрения мер безопасности имеет следующие приоритеты:

1. Меры уменьшения вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие:

- меры уменьшения вероятности возникновения инцидента;
- меры уменьшения вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

2. Меры уменьшения тяжести последствий аварии, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:

- меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор устройства защитного отключения);
- меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение соответствующих устройств защитного отключения);
- меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации пожара.

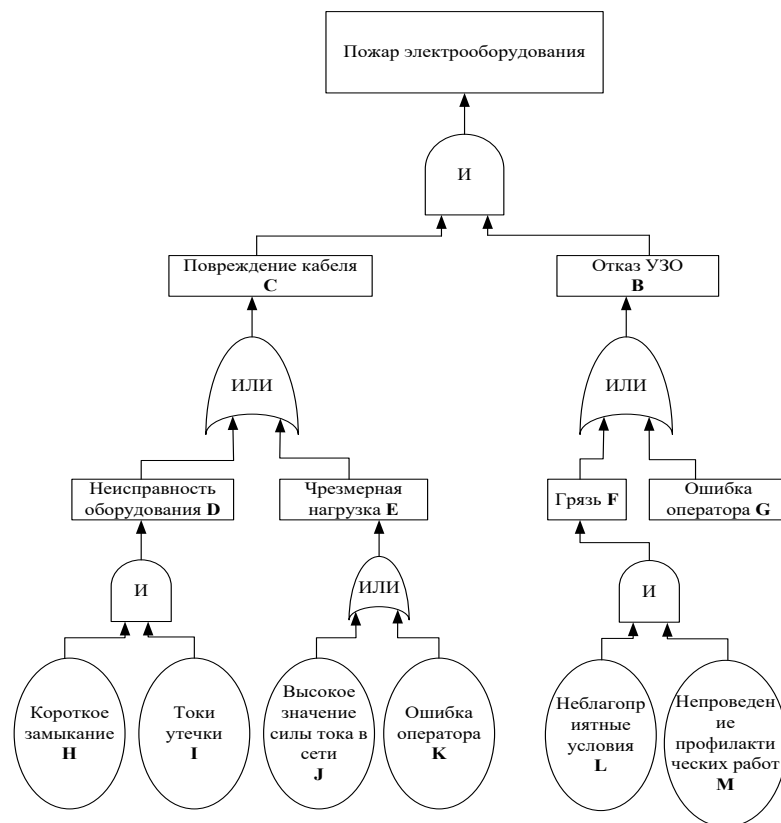


Рисунок 3.1 – Дерево «ошибок» возникновения аварии на промышленных объектах, вызванных токами утечки

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых мер уменьшения риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

- при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;
- обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения мер по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов следует:

- определить совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;
- ранжировать эти меры по показателю «эффективность – затраты»;
- обосновать и оценить эффективность предлагаемых мер.

При выборе методов проведения анализа риска необходимо учитывать этапы функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемого опасного производственного объекта и характер опасности, наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификацию исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы.

Так, на стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска (эта стадия может именоваться как анализ опасностей), опирающиеся на продуманную процедуру, специальные вспомогательные средства (анкеты, бланки, опросные листы, инструкции) и практический опыт исполнителей. Классификация методов анализа отказов и рисков представлена на Рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Классификация методов анализа отказов и рисков

Анализ вида и последствий отказа можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности. Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видом и причин возможных отказов, частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (электрические аппараты защиты) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности - тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики. Ниже (Таблица 3.1) в качестве примера приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа устройств защитного отключения. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т. п.), окружающая среда [106].

Таблица 3.1 – Матрица «вероятность - тяжесть последствий»

| Частота возникновения отказа 1/год | | Тяжесть последствий отказов | | | |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--|
| | | Катастрофический отказ | Критический отказ | Некритический отказ | Отказ с пренебрежимо малыми последствиями |
| Частый отказ | >1 | A | A | A | C |
| Вероятный отказ | 1.0 – 0,01 | A | A | B | C |
| Возможный отказ | 0,01-0,0001 | A | B | B | C |
| Редкий отказ | 0,0001 - 0,000001 | A | B | C | D |
| Практически невероятный отказ | < 0,000001 | B | C | C | D |

В Таблице 3.1 применены следующие варианты критериев:

- критерии отказов по тяжести последствий;
- катастрофический отказ - приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде;
- критический / некритический отказ - угрожает / не угрожает жизни людей, приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде;
- отказ с пренебрежимо малыми последствиями;

- отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

- категории (критичность) отказов:

- «А» - обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности;

- «В» - желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности;

- «С» - рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;

- «Д» - анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется.

Для предупреждения аварии (проведения профилактических мероприятий) или ослабления ее вредного воздействия следует проводить анализ состояния данного объекта (системы), оценивать опасность возникновения аварии (риск), прогнозировать развитие аварийного процесса и возможный ущерб. Для эффективных действий при ликвидации последствий аварии необходим прогноз потребных ресурсов – трудовых, материальных, энергетических и др.

Вероятность аварии объекта (системы) можно определяется произведением неблагоприятных событий. Однако, не всегда ясно, какие события составляют неблагоприятную последовательность (цепочку), сколько таких цепочек имеется и каковы вероятности этих событий. Поэтому для анализа причинно-следственной связи факторов, приводящих к аварии, полезно использовать дерево событий (граф состояний), благодаря которому создается наглядность и обозримость конечных исходов и возможность количественного учета всех неблагоприятных исходов. Такой метод применяется при проектировании потенциально опасных объектов.

На Рисунке 3.3 представлено трехуровневое дерево событий. Над деревом показаны наименования событий каждого уровня.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| А | Б | В | Г | Д |
|---|---|---|---|---|

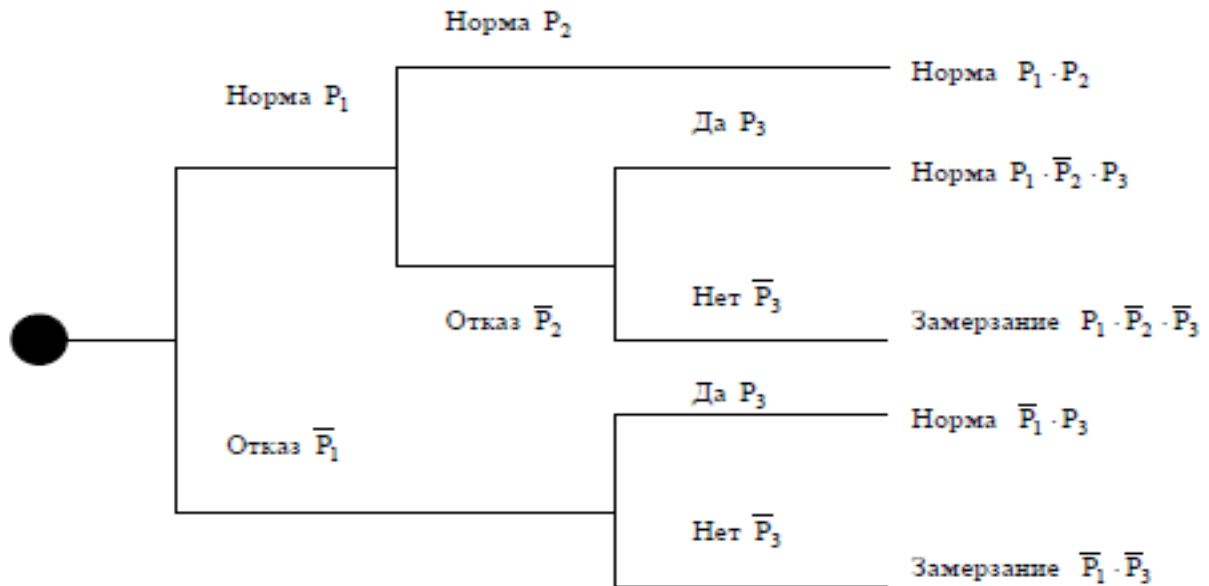


Рисунок 3.3 – Дерево событий: А – исходное состояние (период частичного отказа УЗО), Б – отключение электроэнергии, В – резкие скачки напряжения в сети, Г – своевременное срабатывание системы контроля состояния работоспособности системы противопожарной защиты, Д – конечный результат (вероятности исходов)

Каждое из событий рассматривается в двух альтернативных состояниях: произошло или не произошло (например, «норма-отказ» или «да-нет»), т.е. каждая ветвь дерева может давать два отростка.

Это бинарное дерево обладает некоторыми свойствами:

– вероятность каждого исхода (каждой цепочки последовательных событий) равна произведению вероятностей этих событий (вероятность появления нескольких событий, независимых в совокупности, равна произведению вероятностей этих событий):

$$P_i = \prod_{j=1}^m P_j . \quad (3.2)$$

Сумма вероятностей исходов равна единице (сумма вероятностей в полной группе событий равна 1)

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad (3.3)$$

где m – число уровней дерева ($j = 1, \dots, m$), n – число исходов, вариантов на каждом уровне ($i = 1, \dots, n$).

Просуммировав все благоприятные (или отдельно – неблагоприятные) исходы, получим вероятность интересующего нас события (отказа, аварии и т.д.). Если из всех имеющихся исходов дерева только один (по одной цепочке) является неблагоприятным, т.е. приводящим к аварии, то расчет упрощается и вероятность аварии может быть установлена по формуле (3.4).

В рассматриваемом примере два исхода из пяти являются неблагоприятными. Поэтому вероятность неблагоприятного исхода на основании (3.2) будет:

$$\bar{P} = P_1 \cdot \bar{P}_2 \cdot \bar{P}_3 + \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_3, \quad (3.4)$$

а вероятность противоположного события (благоприятный исход)

$$P = 1 - \bar{P}. \quad (3.5)$$

Любые отказы в технических системах относятся к случайным событиям. Для выявления вероятности подобных отказов используются известные стандартные методы теории надежности с построением структурно-логической схемы и поэлементным расчетом безотказности каждого узла, блока, подсистемы и системы в целом. При этом необходимо знать статистику отказов элементов или узлов, а лучше – законы распределения отказов.

Для оценки опасности возникновения аварии действующего объекта (системы) должно периодически проводиться его натурное обследование (визуальное и инструментальное) в сочетании с постоянным наблюдением (контролем), использованием средств мониторинга. Полученные данные обрабатываются с

помощью соответствующих отраслевых методик или экспресс-методов, а затем проводится на соответствие проекту и допустимым нормативам безопасности. По результатам анализа делается вывод о возможности или о прекращении дальнейшей эксплуатации объекта, о необходимости устранения опасных дефектов или внеочередного ремонта [65].

Конечно, некоторые подсистемы предприятия с большей вероятностью могут быть причиной аварии, чем другие. В связи с этим заданием первого этапа анализа является декомпозиция предприятия в целом на подсистемы, чтобы идентифицировать подсистемы или даже отдельные компоненты, которые могут быть вероятными источниками возникновения токов утечки. В связи с этим, первыми двумя шагами анализа будут:

- определение возможных видов аварий;
- определение тех частей системы, которые могут вызвать аварии.

Единым средством к пониманию причин и условий возникновения аварий является инженерный здравый смысл и детальный анализ условий окружающей среды, самого процесса и используемого оснащения. Фундаментальными относительно этого являются знания по токсичности материалов, реактивности, стойкости к коррозии, взрывоопасности и воспламеняемости, а также знания нормативных и ведущих материалов по проблеме обеспечения безопасности (Рисунок 3.4).

Рассмотрим последовательность событий, которые приводят к аварийному событию в системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта, вызванные токами утечки. Круг аварийных событий начинается с пробоя изоляции провода, вероятность наступления этого события P_A . Затем исследуем разные события в системе, которые могут наступить после возникновения тока утечки. В верхней части Рисунка 3.4 изображено основное дерево событий, в котором показаны все возможные альтернативы дальнейшего развития событий.

Первый (начиная слева направо) узел дерева событий отображает разветвление возможного дальнейшего развития событий в зависимости от состояния системы электропитания. Если питание в системе есть, то далее рассматривается поведение следующей системы – система защиты. Отказ данной системы, сопутствующий отказу основной системы предотвращения пожара, приводит к возникновению пожара. На практике, как правило, основное дерево событий может быть редуцировано на основе простого применения инженерной логики, что и иллюстрируется редуцированием дерева событий, которые изображено в нижней части Рисунка 3.4.

Наиболее важным вопросом в этом рассмотрении есть вопрос о работоспособности системы защиты от возникновения токов утечки. Суть вопроса лежит в определении вероятности неправильной работы системы защиты P и определении того, как неправильная работа может повлиять на функционирование остальной системы, что учитывается при построении дерева событий. В условиях неправильной работы системы любая другая из представленных на Рисунке 3.4 функций не могут быть выполнены [35].

| | | | | |
|-----------------------------|--|------------------------|------------------------|--------------------|
| А Пробой изоляции | В Возникновение токов утечки | С Отказ АСЭО | Д Отказ АСПП | Е Авария |
|-----------------------------|--|------------------------|------------------------|--------------------|

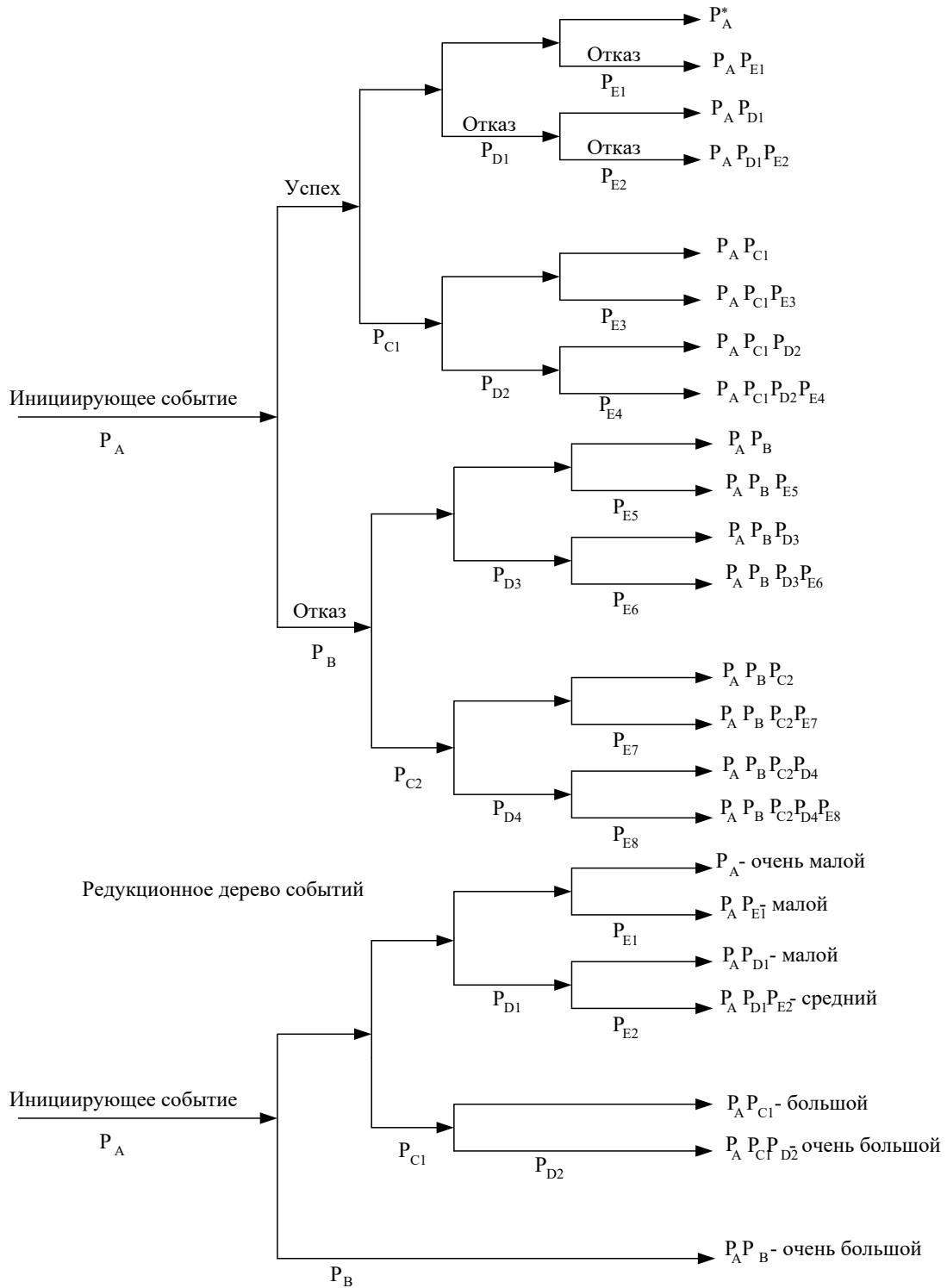


Рисунок 3.4 – Основное дерево событий отказов устройства защитного отключения в автоматизированной системе предотвращения пожара

Дерево событий используется для определения последовательности аварийных событий, обусловленной сложными взаимосвязями между системами защиты разрабатываемой системы. Построение дерева события осуществляется на основе прямых логических соображений. Это решение достигается построением дерева ошибок для подсистемы электрозащиты промышленного объекта. Аварийная система защиты может пребывать как в работоспособном состоянии, так и в неработоспособном состоянии. Вероятность пребывания аварийной системы в неработоспособном состоянии P определяет дальнейшее развитие аварийных событий. Если аварийная система неработоспособна, то дальнейшее развитие процесса определяется состоянием системы предотвращения пожара. Если система предотвращения пожара работоспособна, то возникновение пожара будет меньше, чем тогда, когда эта система неработоспособна.

3.2. Определение коэффициента готовности автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования

Рассмотрим дерево ошибок, изображенное на Рисунке 3.5 - а) - главное событие определено как одновременное появление базовых событий B_1, B_2, \dots, B_n . Коэффициент неготовности системы $Q_s(t)$ (вероятность того что в момент времени t в системе будет иметь место главное событие; это может быть вероятностью отказа системы или вероятностью наличия в системе в момент времени t системной аварии определенного вида) определяется как вероятность наличия в момент времени t всех базовых событий:

$$Q_s(t) = \begin{cases} P(B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n) \\ P(B_1) \cdot P(B_2) \cdot \dots \cdot P(B_n) \end{cases}, \quad (3.6)$$

где символ \cap - означает пересечение событий B_1, B_2, \dots, B_n .

Для оператора «И» с двумя входными событиями это выражение упрощается:

$$Q_s(t) = P(B_1) \cdot P(B_2). \quad (3.7)$$

На Рисунке 3.5 б) главное событие совершается в момент времени t тогда и только тогда, когда хотя бы одно из n базовых событий имеет место в момент времени t . Отсюда вытекает, что коэффициент готовности A и коэффициент неготовности системы $Q(t)$ определяются выражениями:

$$\begin{aligned} A_s(t) &= P(\bar{B}_1 \cap \bar{B}_2 \cap \dots \cap \bar{B}_n); \\ Q_s(t) &= P(B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n), \end{aligned} \quad (3.8)$$

где символ \cup - означает объединение событий, \bar{B}_1 - невыполнение события в момент времени t .

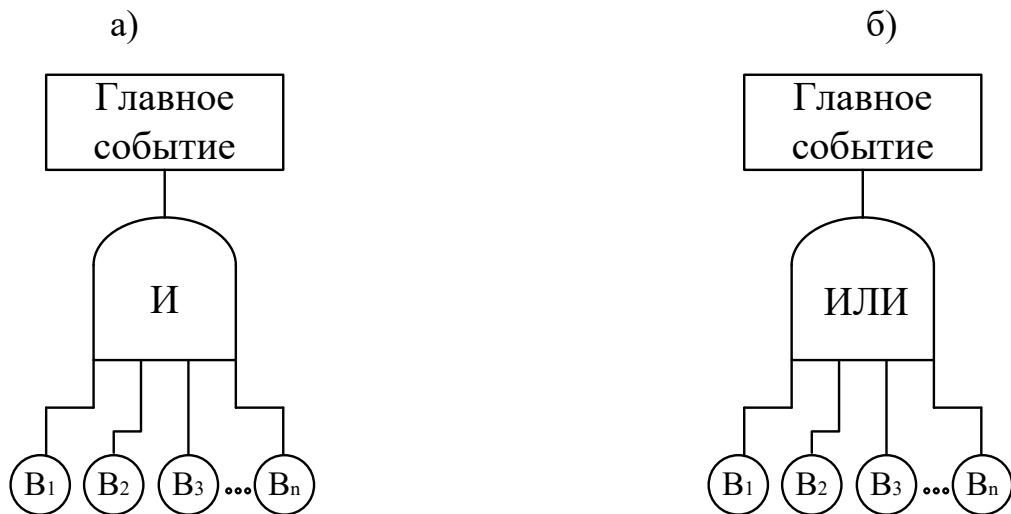


Рисунок 3.5 – Дерево ошибок, образованное операторами «И» и «ИЛИ»

Коэффициент готовности A - вероятность того, что в момент времени t система не будет находиться в состоянии, которое квалифицируется как главное событие. Это может быть вероятность успешного функционирования системы, если главное событие определено как объединение всех аварийных ситуаций системы с помощью оператора "ИЛИ". Это может быть также вероятность не возникновения аварии какого-нибудь конкретного вида, если главное событие представляет собой одиночную аварийную ситуацию. Коэффициенты готовности и неготовности

системы дополняют друг друга таким образом, что выполняется равенство (сумма вероятностей противоположных событий равна 1):

$$A_s(t) + Q_s(t) = 1 \quad (3.9)$$

Вероятность безотказной работы системы $R_s(t)$ (вероятность того, что главное событие не возникнет в течении $(0, t)$) отличается от коэффициента готовности тем, что предполагает невозникновение главного события на протяжении продолжительного временного интервала, тогда как коэффициент готовности отбивает состояние системы в некоторый фиксированный момент времени. В соответствии с этим справедливо неравенство $R_s(t) \leq A_s(t)$. Вероятность отказа системы $F_s(t)$ – вероятность того, что до окончания времени t возникает главное событие системы. Здесь также выполняется равенство $R_s(t) + F_s(t) = 1$. Вероятность отказа системы всегда больше или равна коэффициенту неготовности системы, т.е. $F_s(t) > Q_s(t)$.

Независимость событий B_1, B_2, \dots, B_n означает независимость их запрета. Выражение для коэффициента готовности можно переписать в виде:

$$A_s(t) = P(\bar{B}_1) \cdot P(\bar{B}_2) \cdot \dots \cdot P(\bar{B}_n) = [1 - P(B_1)] \cdot [1 - P(B_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(B_n)] \quad (3.10)$$

Коэффициент неготовности системы можно вычислить следующим образом:

$$Q_s(t) = P(B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n) = 1 - A_s(t) = 1 - [1 - P(B_1)] \cdot [1 - P(B_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(B_n)]. \quad (3.11)$$

Для $n = 2$ имеем:

$$Q_s(t) = \begin{cases} P(B_1 \cup B_2); \\ P(B_1) + P(B_2) - P(B_1) \cdot P(B_2) \end{cases} \quad (3.12)$$

Другими словами, вероятность того, что одно из двух событий имеет место, равна сумме вероятностей этих событий минус вероятность их совместного появления.

Для $n = 3$ получаем

$$Q_s(t) = P(B_1 \cup B_2 \cup B_3) = P(B_1) + P(B_2) + P(B_3) - P(B_1) \cdot P(B_2) - P(B_2) \cdot P(B_3) - P(B_1) \cdot P(B_3) + P(B_1) \cdot P(B_2) \cdot P(B_3) \quad (3.13)$$

Дерево ошибок, изображенное на Рисунке 3.6, воссоздает систему голосования, которая выдает на выход сигнал, если m или больше ее компонентов работают правильно. Соответственно этому на дереве ошибок сигнал на выходе оператора, который воссоздает возникновение главного события, возникает тогда, если более чем m компонентов генерируют неправильный сигнал управления. Широко распространенным объектом использования схем голосования « m из n » являются системы защиты, в которых желательно избегать ошибочных отсоединений при появлении неправильного сигнала управления от одного блока защиты [106].

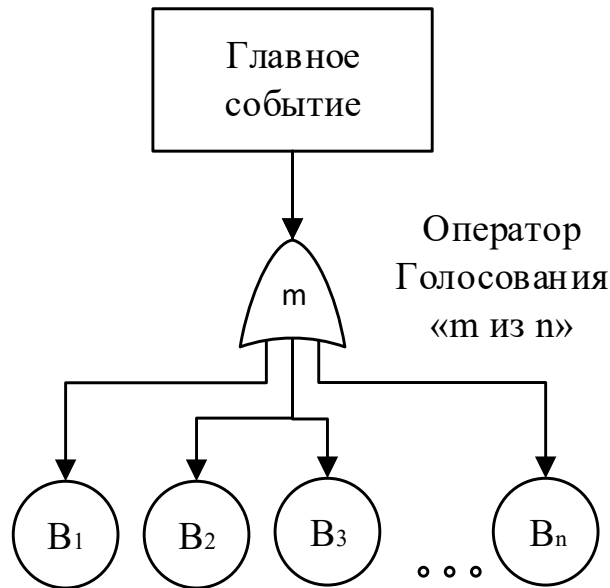


Рисунок 3.6 – Система голосования m из n

В качестве примера рассмотрим схему голосования «2 из 3», используемую в отключаемых устройствах и изображенную на Рисунке 3.7. Отключение схемы происходит, если 2 из 3 блоков защиты генерируют сигнал отключения.



Рисунок 3.7 – Отключающие системы «2 из 3»

Рассмотрим случай, если система, которую защищают, функционирует нормально и отключение не требуется. В рассматриваемой схеме сигнал ошибки на отключение генерируется только в том случае, если больше чем один блок защиты дают ошибочные сигналы. Дерево ошибок для рассматриваемой системы изображено на Рисунке 3.8 (оно представляет собой отдельный случай дерева, показанного на Рисунке 3.4).

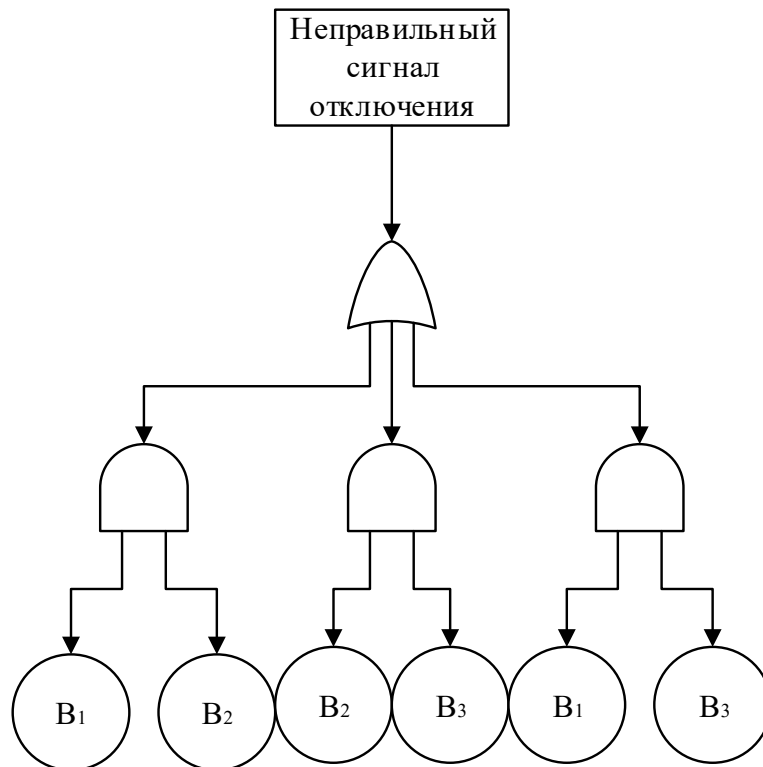


Рисунок 3.8 – Дерево ошибок для системы «2 из 3»

(B_i - неправильный сигнал от блока защиты i)

Оператор « m из n », подобный изображенному на Рисунке 3.8, всегда можно заменить определенной комбинацией операторов «И» и «ИЛИ». Другой подход к аналитическому исследованию состоит в прямом применении биномиального распределения Бернулли.

Допустим, что все первичные события имеют вероятность Q :

$$P(B_1) = P(B_2) = \dots = P(B_n) = Q . \quad (3.14)$$

Соответственно биномиальному распределению для вероятности того, что в n опытах возникает точно m положительных результатов, если вероятность положительного результата равняется Q , имеем:

$$P(m: n, Q) = \binom{n}{m} Q^m \cdot (1 - Q)^{n-m} . \quad (3.15)$$

Это выражение выведено в предположении, что один из возможных путей отыскания m положительных результатов состоит в получении m положительных результатов в первых m опытах, а потом $n-m$ отказов в $n-m$ следующих опытах. Вероятность получения такой последовательности результатов равна $Q^m \cdot (1-Q)^{n-m}$. Общее число последовательностей, каждая из которых содержит точно m положительных, равняется числу сочетаний из n по m :

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.16)$$

Таким образом, $P(m : n, Q)$ является суммой вероятностей для всех указанных последовательностей, что и доказывает выражение (3.15). Используя это выражение для анализа задач безотказности, следует иметь в виду, что в рассматриваемой схеме главное событие возникает в том случае, если есть более чем $m-1$ из n базовых событий. Таким образом, необходимо взять сумму для всех k в выражении (3.16), чтобы получить главное событие

$$Q_s(t) = P(m \leq k \leq n) = \sum_{k=m}^n \binom{n}{k} Q^k \cdot (1 - Q)^{n-k} \quad (3.17)$$

Выводы по главе 3

1. Описано событие возникновения аварии «пожар от электрооборудования» на основе вероятностной модели функции возникновения главного события. Функция представляет собой дерево событий (отказов) и рассматривается как сценарий развития ситуации, в результате которого возможно возникновение неблагоприятного события.

2. Предложена матрица «вероятность – тяжесть последствий», включающая в себя частоту возникновения отказов УЗО на основе статистических данных по надежности электрических аппаратов защиты электросетей от токов утечки. Предложено разграничение тяжести последствий при различных значениях частот возникновения отказов УЗО.

3. Предложена редукция дерева событий. Рассмотрена последовательность событий, которые приводят к аварийному событию в системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта. Определен коэффициент готовности автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования.

ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ТОКОВ УТЕЧКИ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

4.1. Определение множества технических состояний и выбор глубины поиска дефекта

Последние годы активно развивается новый подход к обеспечению промышленной безопасности, основанный на принципах приемлемого риска и оптимизации защитных и природоохранных мер на основе управления риском. Главным постулатом данного подхода является утверждение, что абсолютная безопасность в принципе недостижима. Научным базисом такого подхода является вероятностный подход к обеспечению безопасности, а величина ущерба рассматривается совместно с вероятностью ее реализации. Система единых количественных критериев риска позволяет проводить комплексный анализ аспектов жизнедеятельности общества и на основе этого анализа принимать обоснованные решения по снижению уровня техногенного риска для населения и окружающей среды. Основным этапом управления безопасностью на основе принципа приемлемого риска является количественная оценка риска [106].

Мониторинг ЧС и анализ риска, т.е. определение плотности вероятности и частоты (повторяемости) возникновения опасных воздействий (источников) является исходной информацией для последующих процедур, включающих разработку возможных сценариев развития ЧС применительно к рассматриваемому объекту и оценку вероятности ущерба того или иного уровня в случае реализации того или иного сценария.

Учет возможного воздействия ЧС даже только на определенный тип объектов приводит к рассмотрению значительного числа факторов, каждый из которых

применяется в определенном, достаточно широком диапазоне, и может приводить к различным последствиям. Поэтому общая методология построения сценариев включает выделение из общего числа факторов наиболее важные и их ранжирование.

Последнее предполагает разбиение факторов и их параметров на группы в соответствии с производимыми последствиями для объекта, а также выделение некоторого среднего в пределах группы, наиболее полно характеризующего всю группу. Таким образом, обычно выделяют три сценария: оптимистический, нормальный и пессимистический.

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах (далее - анализ риска) является составной частью управления пожарной и промышленной безопасностью. Анализ риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий. Системный подход к анализу техногенного риска требует рассмотрения источника риска – самой инженерной системы, ее потенциально опасной продукции и отходов производства, т.е. всего производственного цикла, и его природного и социального окружения как единого целого. Кроме того, данный подход предполагает комплексную характеристику риска. С одной стороны, того, что связано с нормальным, штатным режимом эксплуатации объектов. Известно, что даже тогда, когда последние функционируют без нарушения технологического регламента, из-за несовершенства управления производством, в том числе вследствие недостаточной подготовки кадров, а также производственного и очистного оборудования, использование в технологических процессах потенциально опасных компонентов приводит к серьезному загрязнению окружающей среды с риском для здоровья людей и материальных и культурных ценностей.

С другой стороны, системный подход подразумевает анализ и того риска, который сопряжен с аварийными [106] ситуациями, вызванными выходом инженерной системы из строя, либо грубым нарушением регламента эксплуатации

такой системы (залповые выбросы), что может стать предпосылкой чрезвычайной ситуации «взрывного» типа. Следовательно, важно рассматривать как риск (вероятность) возникновения самой аварии, так и ее последствий и последствий штатной эксплуатации потенциально опасных объектов. Оценка риска должна характеризовать как вероятность наступления самого неблагоприятного события, например, аварии или выброса вредных загрязняющих воздух веществ «нормально» действующим предприятием, так и вероятность негативных последствий этого события, например, заболевания или смерти человека.

Существует два основных подхода к анализу риска.

В рамках первого подхода рассматриваются три основных направления анализа риска, связанных с предметом системного анализа:

- 1) безопасность (надежность) технологических систем, включая пожарные и аварийные ситуации;
- 2) воздействие токсичного загрязнения на здоровье человека и окружающую среду, в том числе медико-экологические последствия аварий и катастроф;
- 3) восприятие риска людьми (экспертами и рядовыми гражданами, общественностью).

Согласно второму подходу рассматривают следующие направления анализа риска:

- 1) измерение риска (восприятие его людьми, способы его количественного определения);
- 2) повышение безопасности крупномасштабных технологических систем, включая определение допустимого уровня риска (установление стандартов), выбор места расположения новых систем, анализ человеко-машинного взаимодействия, разработку более безопасных технологий, определение экономически оправданного уровня затрат на безопасность;

3) анализ, в том числе изучение причин возникновения, процесса развития и последствий аварий, организационно-управленческих проблем подготовки к возможным авариям и управления в чрезвычайной обстановке.

В рамках перечисленных направлений выделяется ряд подходов и методов.

Системный подход к анализу риска диктует необходимость разработки и совершенствования как инженерно-технологических, так и организационно-управленческих методов и процессов, направленных на предотвращение и (или) минимизацию риска, вызванного техногенными источниками опасности. Таким образом, данный подход предполагает комплексную характеристику риска.

Особое место при проведении оценки и (или) прогнозирования опасности (риска) занимает процедура анализа аварийных и нештатных ситуаций на объекте (Рисунок 4.1). При проведении подобного анализа предполагается отдельно рассматривать аварийные и нештатные ситуации [23-29].

Для повышения эффективности декларирования промышленной безопасности необходимо активизировать деятельность в следующих направлениях: внедрение методов качественного анализа опасностей и инженерных методов оценки риска; установление критериев приемлемого риска и безопасности; разработке методик, учитывающих основные стадии и эффекты аварийного процесса (истечения, распространения, рассеяния опасных веществ, воспламенения, оценки поражения людей и разрушения материальных объектов и т.п.) и объединенных на основе общих параметров в комплекс взаимосвязанных методик - экспертную систему; методик "прямого численного" моделирования аварийных процессов, основанных на численном решении уравнений, описывающих процессы разрушения технических устройств и условия выброса опасных веществ в окружающее пространство; оценки параметров разлива нефти и нефтепродуктов по рельефу местности; оценки ущерба от аварий на опасных типовых производственных объектах; развития информационной базы и методов сбора и анализа данных об инцидентах, авариях на опасных производственных объектах [65].

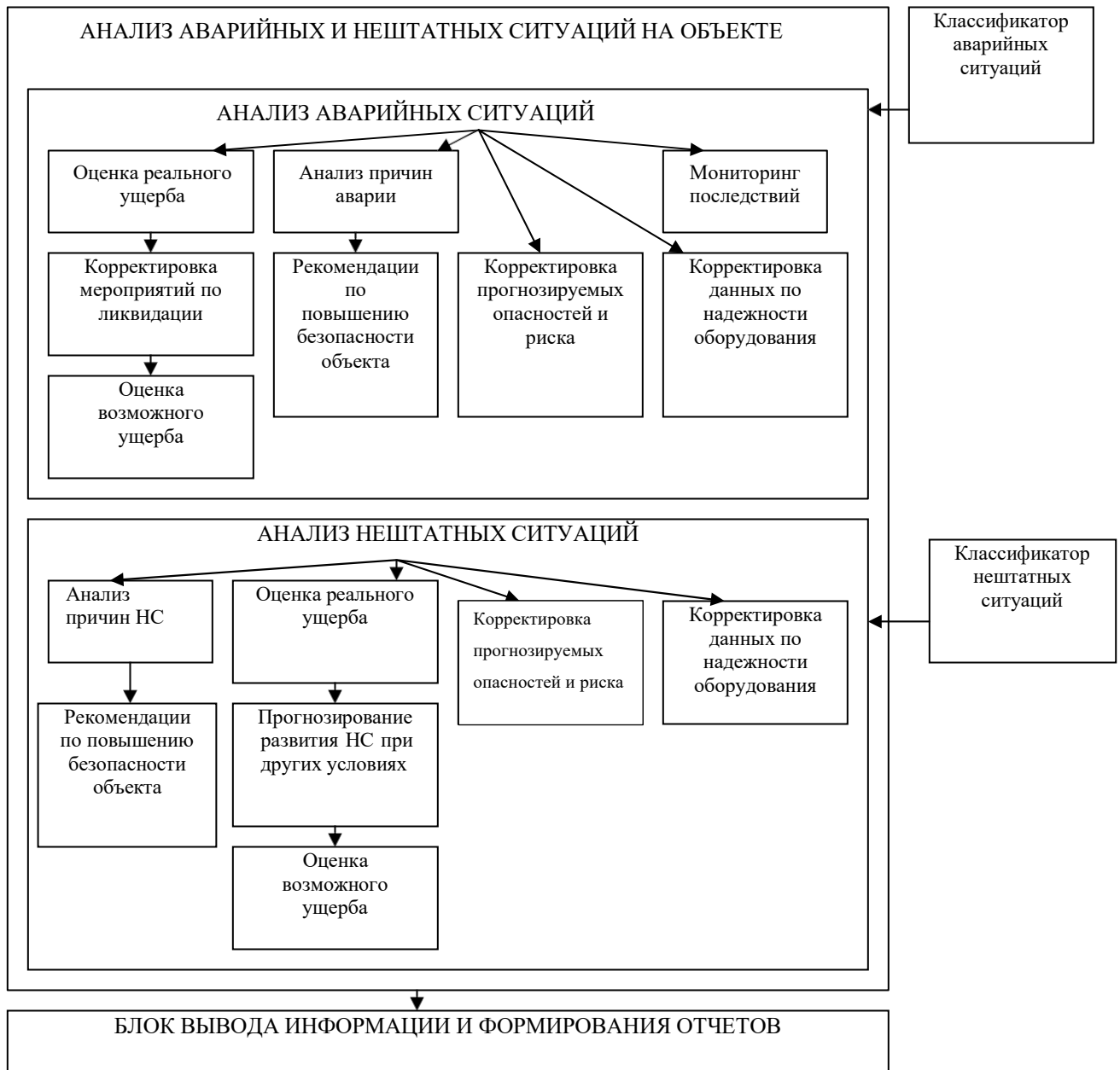


Рисунок 4.1 – Блок-схема анализа аварийных и нештатных ситуаций на объекте

Основные задачи анализа риска аварий на опасных производственных объектах заключаются в представлении лицам, принимающим решения:

- объективной информации о состоянии пожарной и промышленной безопасности объекта;
- сведений о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности;
- обоснованных рекомендаций по уменьшению риска.

Для количественных оценок возникновения аварии используют два показателя:

- вероятность возникновения аварии (отношение числа случаев режимов эксплуатации, приводящих к аварии, к общему множеству режимов эксплуатации;
- частота аварии (выборка отношения числа произошедших событий (аварий) к периоду наблюдений (времени эксплуатации промышленного предприятия).

Как правило, к авариям на промышленных и других объектах приводит отказ (неполадка) – события, заключающееся в нарушении работоспособного состояния оборудования, объекта. К одной и той же аварийной ситуации могут привести различные виды отказов и один и тот же отказ может привести к различным аварийным ситуациям. В свою очередь аварийная ситуация – это сочетание условий или обстоятельств, появление которых может привести к возникновению факторов риска – причин, движущих сил, приводящих к негативному воздействию на различных реципиентов. Каждая ситуация может привести как к одному фактору риска, так и к нескольким сразу, которые, в свою очередь, могут приводить к возникновению одного или нескольких видов риска, в зависимости от характера наносимого ущерба [33].

Исходя из предложенной блок-схемы анализа аварийных и нештатных ситуаций на объекте был разработан алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в АСУТП электрооборудовании (Рисунок 4.2).

Рассмотренный алгоритм показывает, что полученные данные поступают в базу данных (БД). В случае, если текущая ситуация определена как регламентированный процесс, то ЛПР выдается сообщение об отсутствии необходимости вмешательства в производственный процесс. В случае, если текущая ситуация определена как негативная ситуация, то данные поступают в БКС для определения близкой к текущей ситуации априорной ситуации, то есть ситуации, на которую имеется решение. Выбор решения производится в блоке вычислительных

решений (БВР), однако в случае близости нескольких априорных ситуаций производится обращение к блок предварительных решений (БПР), где производится выбор только одной наиболее эффективной априорной ситуации для сложившейся текущей ситуации.

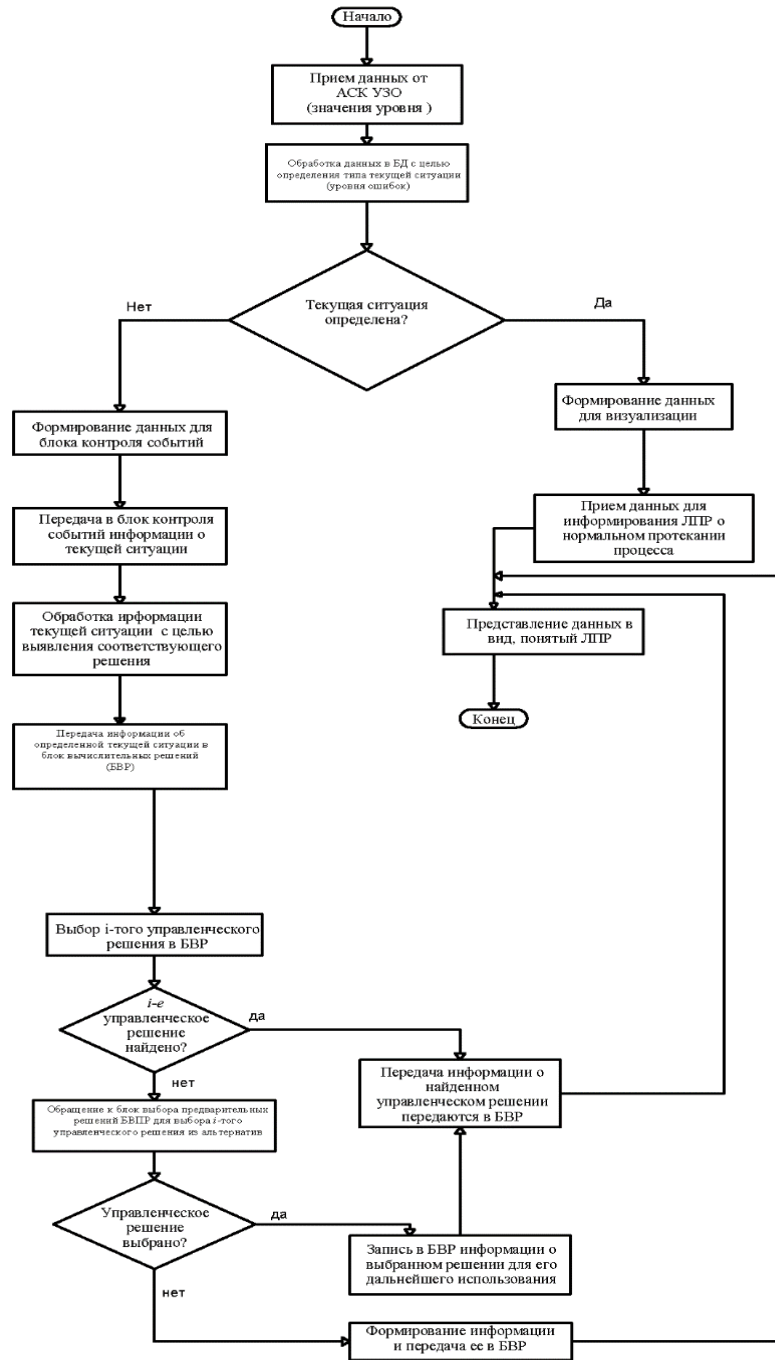


Рисунок 4.2 – Алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в АСУТП электрооборудования

Разработанный алгоритм позволяет оценить поступающую текущую ситуацию, классифицировать ее и выбрать (при наличии) управляющее воздействие по ее разрешению, тем самым значительно снизить вероятность возникновения пожарных и аварийных ситуаций в электрооборудовании.

4.2. Алгоритм построения диагностических моделей устройств защитного отключения, основанный на дереве событий

Оценка степени риска поражения людей и нанесения ущерба при пожарах и авариях связаны с задачей прогнозирования показателей надежности и остаточного ресурса функционирующей системы. Наиболее важным вопросом является установление допустимых сроков дальнейшей эксплуатации индивидуального объекта при конкретном значении риска аварии [31-34].

Основное понятие надежности – отказ. Это – нарушение нормального функционирования рассматриваемого объекта, приводящее к уходу его рабочих характеристик за допустимые пределы. Могут быть отказы вследствие внезапных повреждений (поломок, пробоев и т.п.) и вследствие постепенных изменений, обычно вызываемых износом. Произойдет ли отказ и к каким последствиям он приведет – все это можно определить, лишь оценивая вероятность подобных событий. Поэтому для количественного выражения надежности служат вероятностные характеристики работы рассматриваемых устройств. Случайные события и величины обладают статистической устойчивостью, однородностью, имеют соответствующие законы распределения), т.е. могут повторяться при одинаковых условиях многократно. Как правило, аварии происходят в результате совпадения случайных или случайных и неопределенных событий, поэтому опасность возникновения аварии обычно оценивают вероятностными показателями.

Один из способов построения указанных характеристик состоит в изучении продолжительности T исправной работы, т.е. времени, протекающего от момента

включения рассматриваемого устройства до возникновения первого отказа. Полагая, что в момент включения время $t = 0$, будем считать первый отказ происходящим при $t=T$, рассматривая таким образом лишь положительные значения времени. Время T – случайная величина, подчиненная условию:

$$0 < T \leq \infty. \quad (4.1)$$

Вероятность того, что при каком-либо значении текущего времени t :

$$T \geq t \quad (4.2)$$

называют вероятностью безотказной работы $P(t)$ в течение времени t или функцией надежности ($P(0)=1$, $P(\infty)=0$). Вероятность отказа за то же время, является функцией риска аварии (поражения людей и нанесения материального ущерба):

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (4.3)$$

Для оценки риска применяют некоторые модели теории надежности. Среди них модели высоконадежных систем, для которых аварийные ситуации представляют редкие события, а также модели стареющих систем, качество которых в процессе эксплуатации ухудшается вследствие ползучести, различных видов усталости, износа и других повреждений.

Прогнозирование аварийных ситуаций возможно на основе элементарной статистики и дискретного распределения Пуассона, часто применяемого к редким событиям и природным явлениям.

Общее выражение закона надежности имеет вид:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right], \quad (4.4)$$

где величина $\lambda(t) = - \frac{1}{P(t)} \frac{d}{dt} P(t)$ называется интенсивностью отказов, равная вероятности того, что после безотказной работы до момента времени t авария произойдет в последующем малом отрезке времени.

Практика показывает, что после небольшого начального периода эксплуатации функция $\lambda(t)$ длительный период достаточно стабильна, т.е. $\lambda(t) = \lambda = const$.

Влияние интенсивного старения за счет коррозионного износа, усталости и других факторов должно исключаться регламентированием допустимого срока

службы. В период нормального (спокойного) функционирования закон надежности принимает вид экспоненциального распределения:

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (4.5)$$

При функции надежности в виде $P(t) = \exp(-\lambda t)$ частота отказов в системе однотипных объектов (поток случайных событий) соответствует дискретному распределению Пуассона:

$$P(m, \lambda \tau) = \frac{\lambda \tau^m}{m!} \exp(-\lambda \tau), \quad m = 0, 1, 2, \dots, \lambda \tau > 0. \quad (4.6)$$

Аварии на временном интервале τ ($t, t+\tau$) произойдут m раз с вероятностью $P(m, \lambda \tau)$, а отсутствие аварийных ситуаций (отсутствие отказов) – с вероятностью:

$$P(0, \lambda \tau) = \exp(-\lambda \tau). \quad (4.7)$$

Вероятность того, что аварии произойдут n раз при $n < m$ (т.е. менее m раз), определяется функцией распределения:

$$P_0(n < m) = \sum_{i=0}^{m-1} P(i, \lambda t) = 1 - \varphi(m, \lambda \tau), \quad (4.8)$$

$$\varphi(m, \lambda \tau) = P_0(n \geq m) = \sum_{i=0}^{m-1} P(i, \lambda \tau).$$

Вероятность возникновения хотя бы одной аварии представляет оценку риска аварии на объекте за период

$$Q = 1 - P(0, \lambda \tau) = 1 - \exp(-\lambda \tau). \quad (4.9)$$

Используемые статистические данные должны соответствовать типу анализируемого производства, оборудования объекта, а также применимым устройством электрической защиты. Обобщенные среднестатистические данные частот отказов УЗО представлены на Рисунке 4.3.

Формулу Пуассона называют законом редких явлений. Если же преобладают отказы, вызываемые износом, то следует пользоваться нормальным распределением, часто называемым законом Гаусса. Это относится к тем случаям, в которых появление того или иного значения случайной величины зависит от большого числа случайных событий, каждое из которых оказывает на эту величину малое влияние, причем ни одно влияние не превалирует.

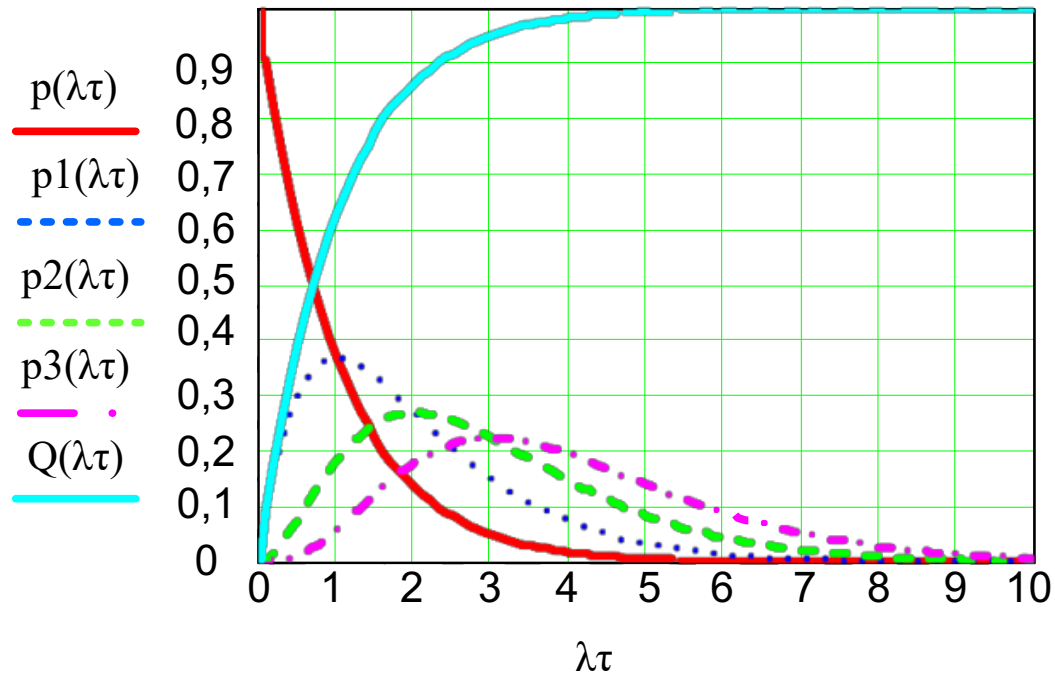


Рисунок 4.3 – Вероятность аварий $P(m, \lambda\tau)$ для $m = 0, 1, 2, 3$ и оценка риска Q аварийности в зависимости от частоты отказа

Предложенный подход позволяет оценить жизненный цикл устройств защитного отключения в процессе его эксплуатации, а также проанализировать процессы, протекающие в электрической сети предприятия, относящиеся к функциям автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования. Поэтому необходимо осуществлять контроль и защиту электрооборудования на всех этапах процесса функционирования промышленного объекта:

- контроль напряжения электрической сети на кабельных линиях предприятия;
- контроль значений сопротивления электросети;
- фиксация значений силы электрического тока в электросети.

Кроме того, из-за особенностей и состава оборудования необходимо контролировать еще целый ряд показателей:

- вибрацию основных узлов электроустановки;
- уровень конденсата в системе;

- уровень масла в системе смазки электрооборудований;
- температуру и давление в производственном цехе;
- электрическую защиту основного электродвигателя, электроприводов вспомогательных систем и другого электрооборудования станции;
- сигналы от комплектных систем управления входящего в состав станции оборудования;
- сигнал от автоматизированной системы охранно-пожарной сигнализации;
- внешний сигнал аварии.

Контроль всех аварийных параметров разбит на группы. «Активация/деактивация» защит и по каждой из групп осуществляется в соответствии с основным циклом прикладной программы ПЛК.

В случае если один из контролируемых параметров выходит за допустимые пределы (для аналоговых характеристик) или возникает событие, вызывающее аварийный дискретный сигнал, АСПП переводит контролируемое оборудование в безопасное состояние (Рисунок 4.4).

Аварийный останов станции сопровождается звуковой и световой сигнализацией, и оператору выводится информация о первопричине остановки.

Связь с контролируемым оборудованием и исполнительными механизмами, ПЛК и системой ввода/вывода осуществляется посредством устройств связи с объектом (УСО). В роли УСО выступают барьеры искрозащиты, нормирующие преобразователи (для аналоговых входов) и электромагнитные реле (для дискретных выходов) [28].

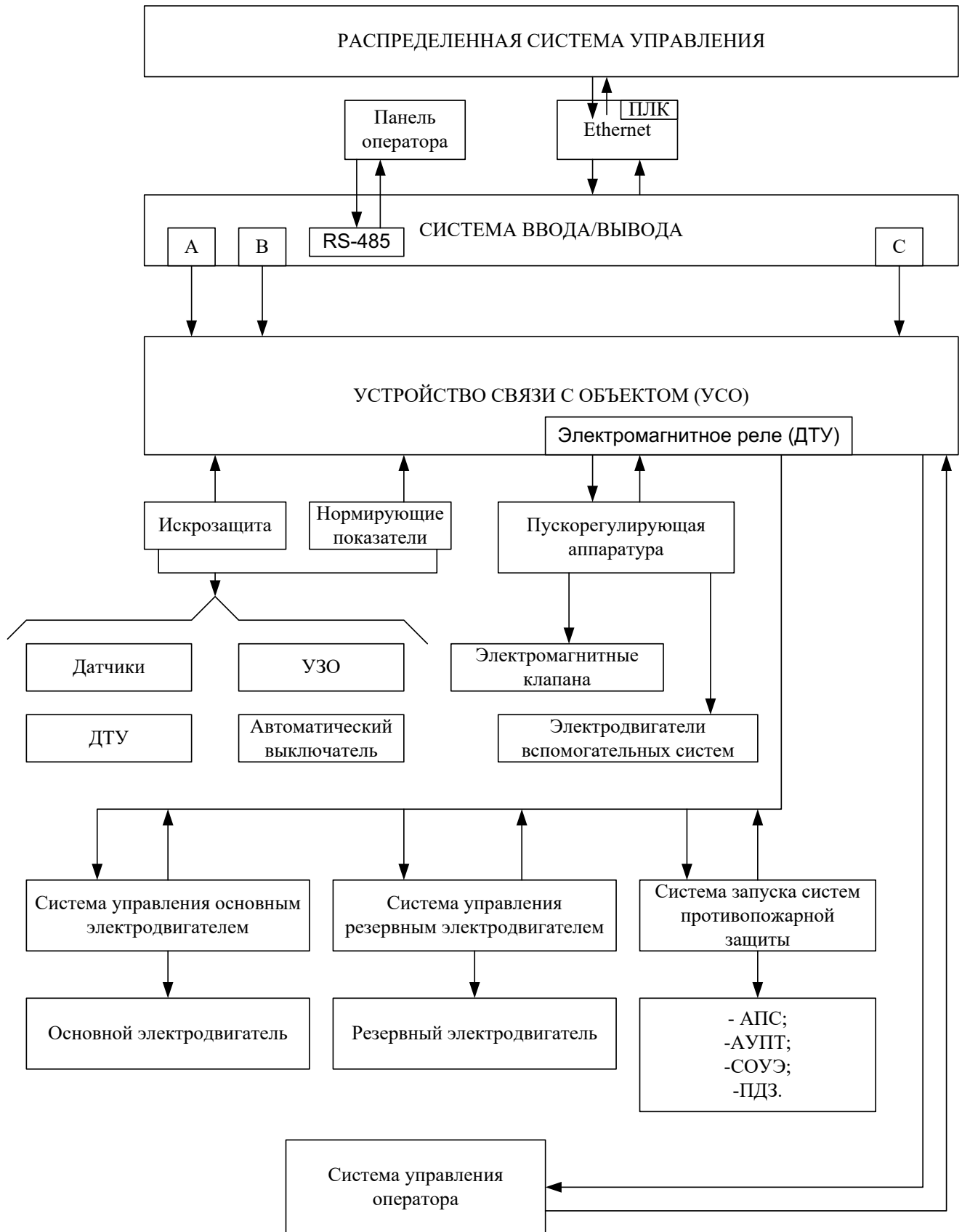


Рисунок 4.4 – Архитектура реализованной АСУ комплексом оборудования

Для управления мощными потребителями применяется пускорегулирующая аппаратура, представленная в основном электромагнитными контакторами. Ниже по иерархии расположены выделенные системы управления комплектным оборудованием сторонних производителей, связь с которыми обеспечивается посредством дискретных входных (контроль) и выходных (управление) сигналов. На первый уровень системы помещены первичные преобразователи контролируемых параметров (датчики давления, температуры, вибрации, загазованности и т. д.), а также исполнительные механизмы — основной электродвигатель, насосы, клапаны, комплектное оборудование сторонних производителей. Кроме того, было необходимо реализовать связь с распределенной системой управления (PCY) объекта по интерфейсу Ethernet с использованием протокола Modbus TCP. Все оборудование системы управления — ПЛК, система ввода/вывода, ЧМИ, УСО, система электропитания цепей управления и силовых цепей пространства одного шкафа, требовалось использовать компактный ПЛК, способный работать в достаточно жестких условиях (высокие температуры окружающей среды и уровень электромагнитных помех) [33].

Блок схема алгоритма процесса функционирования системы представлена на Рисунке 4.5.

В начале каждого цикла программы происходит обработка данных с датчиков — приведение данных от аналоговых датчиков 4–20 мА (ДТУ и т. д.) к диапазону шкалы. Затем обрабатываются нажатия кнопок управления и команды оператора, поступившие с сенсорной панели. Впоследствии все эти данные используются в программе.

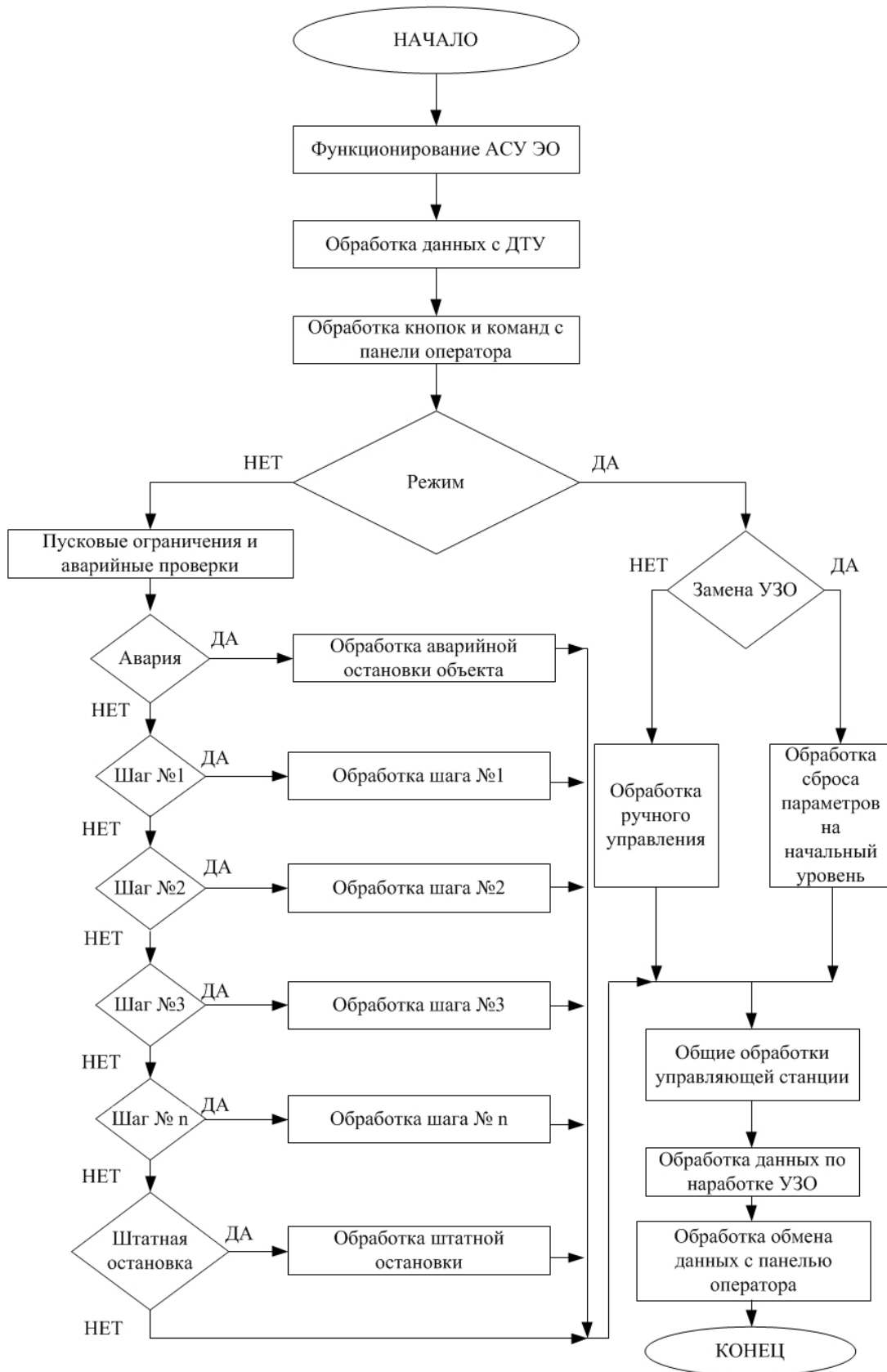


Рисунок 4.5 – Блок-схема алгоритма работы АСУ комплексом оборудования диагностики УЗО в составе АСУТП ЭО

Система может работать в одном из двух режимов.

1. В ручном режиме оператор берет на себя полное управление системой. Это требуется для проверки узлов и оборудования. К примеру, можно отдельно запустить вентилятор вентиляции, насосы и вентиляторы системы охлаждения, обогреватели помещения компрессорной, проверить клапаны и т. д. Аварийные защиты в этом режиме отключены.

2. Автоматический режим — основной режим работы. Система функционирует в соответствии с основным циклом программы ПЛК, при этом производится контроль и анализ показаний с дискретных и аналоговых датчиков станции, на основании которых система управляет исполнительными механизмами.

Аварийные защиты в этом режиме активны. Сведения от датчиков станции можно посмотреть в любой момент в каком угодно режиме работы.

В соответствии с правилами разграничения доступа панель оператора дает возможность перейти в ручной режим только мастеру системы (полный уровень доступа), в то время как другим группам пользователей — оператору (основной уровень доступа, позволяющий выполнять все необходимые действия) и администратору (уровень доступа инженера) — эта опция будет недоступна.

Автоматический режим разбивается на шаги, и переход с одного из них на последующий возможен лишь при выполнении определенных условий. Например, переход на шаг 1 может произойти только при нажатии кнопки «Пуск программы», при этом активизируется проверка на аварии и пусковые ограничения первой группы. Пусковые ограничения не позволяют продвинуться на следующий шаг до тех пор, пока значения показателей электрической сети предприятия не достигнут рабочего значения. В то же время, если переход на следующий шаг сильно затянулся (к примеру, показатель электрической сети на одном из электродвигателей не может выйти на заданный уровень), контроллер выдаст соответствующую ошибку и остановит процесс запуска.

Блок-схема иллюстрирует лишь общий подход. Следует отметить, что применяемая связка ПЛК и панели оператора позволяет реализовать сложные и громоздкие алгоритмы. При этом система функционирует быстро и стабильно.

Проект АСУТП ЭО при возникновении токов утечки, отвечающий современным требованиям по техническим параметрам надежности и уровню автоматизации, является уникальным, поскольку он способен работать с оборудованием советского производства, выпущенное в 1970–80-х гг., которое до сих пор эксплуатируется на ряде объектов, и на данный момент безнадежно устарело. Особенно это касается систем управления, сравнивать которые с рассматриваемой АСУ КЗ просто не имеет смысла.

Благодаря использованию современных средств человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), прежде всего сенсорной ЖК-панели оператора с достаточной диагональю, система управления имеет интуитивно понятный интерфейс пользователя, позволяющий легко освоить и затем осуществлять процесс управления всем комплексом сложного технологического оборудования, входящего в состав АСУТП ЭО.

В связи с этим предполагается внедрение рассматриваемой системы в серийное производство в составе комплекса технологического оборудования АСУЭО промышленных объектов Вьетнама.

4.3. Диагностика системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, с использованием функционального пространства и пространства состояний многоуровневого относительно конечного автомата устройства защитного отключения

Для описания функциональных возможностей синтезируемых автоматных моделей предусмотрены функциональные модели [78] (Рисунок 4.6). В них функции

разнесены по уровням и связаны между собой. Функциональные модели описываются в виде:

$$\{FB^i, FC^i\}_r \rightarrow \{FA_j^i\}_r, \quad (4.10)$$

где FA_j^i - j -ая функция автоматные модели на уровне i . Функции определяются условиями, наблюдаемыми на шаге r и допустимыми множествами функций внутренних переходов и выходов.

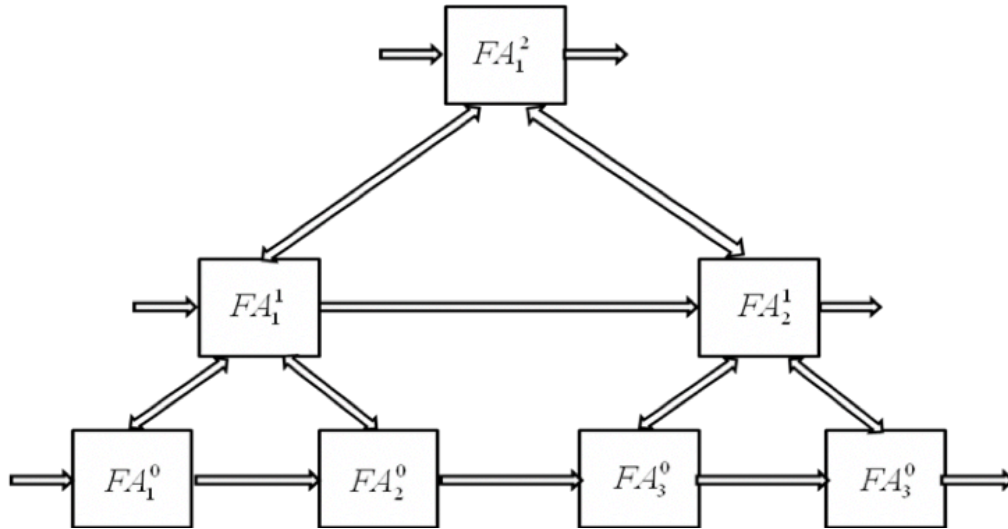


Рисунок 4.6 – Иерархическая структура функций иерархических УЗО

Пространство состояний рассматриваемого автомата также имеет иерархическую структуру. Пространства состояний и функциональные пространства, которые построены для условий одного шага, определяют автоматы, являющиеся локальными моделями объектов. Если при построении автоматов рассматриваются различные условия, то результирующие автоматы представляют собой глобальные модели УЗО.

При формировании пространств состояний и функциональных пространств определяются допустимые функции и допустимые состояния. Для этого осуществляется обработка исходных данных. Она состоит в обобщении частных примеров, содержащихся в полученных от объектов данных.

При обработке данные рассматриваются на отдельных временных интервалах, на которых состояние объекта не изменялось. Для каждого такого интервала времени строится многоуровневая структура, описывающая наблюдаемый объект на этом интервале. В результате формируются последовательности связанных между собой структур.

Формально на каждом z -ом уровне структура определяется как

$$K_z = K_z(S_z(e_{zi}, l_{zij}), \{e_{zi}\}, \{l_{zij}\}; e_{zi} \in E_z; l_{zij} \in L_z), \quad (4.11)$$

где $S_z(e_{zi}, l_{zij})$ - структура уровня z , $\{e_{zi}\}$ и $\{l_{zij}\}$ - информационные элементы и связи, содержащиеся в структуре, E_z, L_z - множества допустимых элементов и связей между элементами на z -ом уровне.

Между элементами, относящимися к различным уровням, устанавливаются вертикальные связи $h_{zrij} \in H_{zr}$, где H_{zr} - множество допустимых вертикальных zr связей.

Структуры K_z ассоциируются с интервалами времени, для которых они определены, или с отдельными моментами времени из этих интервалов. Такие структуры являются статическими структурами, которые характеризуют объекты на рассматриваемых интервалах. Для описания объектов на более длительных временных интервалах построенные статические структуры связываются между собой, формируя при этом динамические структуры. Динамическая структура - это единая скользящая во времени структура, которая определена на временном интервале $[t_0, t_N]$:

$$G = G(S(K_r, d_{rj}), \{K_z\}, \{d_{rj}\}); r \in [t_0, t_N]; d_{rj} \in D_r, \quad (4.12)$$

где $\{d_{rj}\}$ - информационные связи динамической структуры, построенной на шаге r ; D_r - множества допустимых связей между элементами статических структур на шаге r .

На Рисунке 4.7 показан пример построения структуры, характеризующей объект на временном интервале. Представленный на рисунке объект включает три

составляющих, для каждой из которых строится своя структура. При этом между отдельными информационными элементами устанавливаются горизонтальные F_h и вертикальные F_v связи. За счет горизонтально-вертикального связывания F_{hv} структур, построенных для составляющих объекта, формируется структура, характеризующая объект в целом. Для построения динамических структур на основе статических устанавливаются связи F_t , которые отражают изменения статических структур во времени.

Заметим, что такие структуры могут быть представлены в виде относительно конечных автоматов.

Подробное описание статических и динамических структур можно найти в, вопросы их построения рассмотрены в [98, 99].

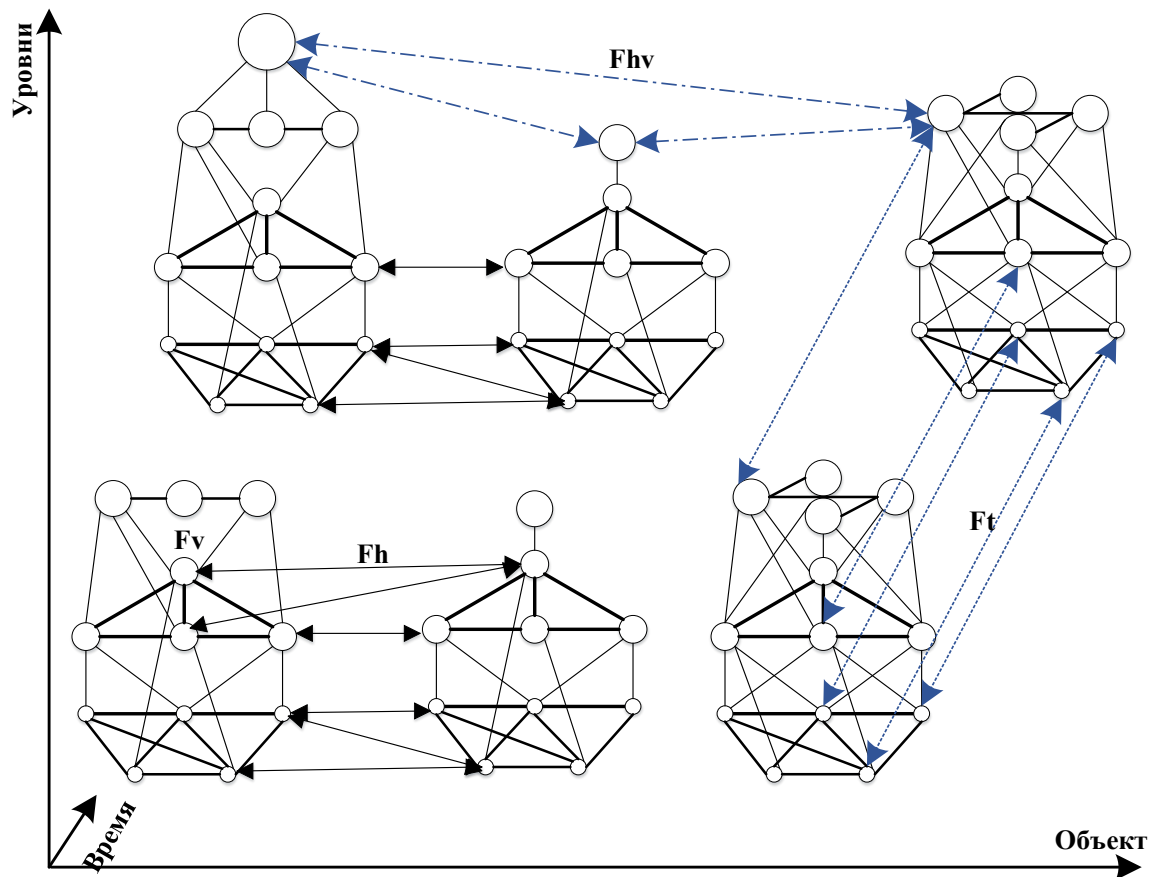


Рисунок 4.7 – Статические и динамические структуры, характеризующие состояния устройства защитного отключения

4.4. Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей устройств защитного отключения

Для синтеза моделей объектов в каждом конкретном случае формулируются и решаются частные задачи. В соответствии с уровнями системы показателей и критериев эффективности выделяются следующие группы частных задач: прикладные задачи, задачи синтеза моделей процессов и программ мониторинга, задачи синтеза моделей объектов мониторинга, задачи трансформации контента в контексте [100,101]. Ниже приводятся отдельные частные задачи.

К типовым задачам прикладного уровня относится задача поиска варианта построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга V_o , обеспечивающего достижение максимума числа одновременно наблюдаемых объектов с периодичностью P не ниже заданной:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} Q(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \quad (4.13)$$

$$P(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq P_{\text{зад}} \quad (4.14)$$

где $V_i(K(t))$ - варианты построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга; $C(t)$ - контент; $K(t)$ - контекст, Ω - множество вариантов построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга.

Другой типовой задачей является задача поиска варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ мониторинга V_o , обеспечивающего достижение максимума информативности G синтезируемых моделей объектов при ограничениях на точность Z и достоверность R :

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} G(Z(V_i, R), R(V_i), K(t), C(t), t) \quad (4.15)$$

$$Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{\text{зад}}, R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{\text{зад}} \quad (4.16)$$

Возможна постановка задачи поиска варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ V_o , обеспечивающего получение необходимой информации за

минимальное время T_0 при заданных допустимых значениях точности Z и информативности G синтезируемых моделей:

$$V_0(t) \in \text{Agr} \min_{i \in \Omega} T(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \quad (4.17)$$

$$G(Z(V_i), R(V_i), K(t), t) \geq G_{\text{доп}} \quad (4.18)$$

$$Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{\text{доп}}, R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{\text{доп}} \quad (4.19)$$

Поиск варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ V_0 может также выполняться по критерию минимума расхода ресурсов, обеспечивающего заданную информативность результирующей модели:

$$V_0(t) \in \text{Agr} \min_{i \in \Omega} U(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \quad (4.20)$$

$$G(Z(V_i), R(V_i), K(t), t) \geq G_{\text{зад}} \quad (4.21)$$

$$Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{\text{доп}} \quad (4.22)$$

$$R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{\text{доп}} \quad (4.23)$$

Частные задачи синтеза процессов и программ мониторинга. При синтезе процессов и программ мониторинга можно исходить из достижения максимальной скорости обработки информации D при ограничениях на точность обработки Z , которая определяется объемом информации I и видами обработки L :

$$V_0(\Delta t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} D(V_i(K(\Delta t)), K(t)) \quad (4.24)$$

$$Z(V_i, I(\Delta t), L(\Delta t)) \geq Z_{\text{зад}} \quad (4.25)$$

Синтез процессов и программ мониторинга V_0 можно выполнять, требуя минимизацию затрат на перестройку существующих процессов U с учетом ожидаемого повышения информативности моделей объектов:

$$V_0(t) \in \text{Agr} \min_{i \in \Omega} U(\Delta V(t), \Delta G(t)) \quad (4.26)$$

$$\Delta V(t) = |V_i(t) - V'|; \Delta G(t) = |G(V_i(t)) - G(V')| \quad (4.27)$$

При синтезе процессов мониторинга может обеспечиваться максимальная информативность результатов обработки входного контента при ограничениях на ресурсы:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} G(Z(V_i), R(V_i), K(\Delta t)) \quad (4.28)$$

$$U(V_i(K(\Delta t))) \leq U_{\text{зад}} \quad (4.29)$$

Частные задачи синтеза моделей мониторинга УЗО. При синтезе моделей объектов может ставиться задача поиска варианта синтеза V_o , обеспечивающего построение наиболее полной модели по имеющимся контенту и контексту с учетом возможностей получения дополнительной информации при ограничениях на достоверность R и точность Z модели, а также ресурсы U для ее построения:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} G(Z(V_i), R(V_i), K(t), \Delta K) \quad (4.30)$$

$$R(V_i, \Delta K) \geq R_{\text{доп}}; Z(R(V_i), \Delta K) \geq Z_{\text{зад}}; U(V_i(\Delta K)) \leq U_{\text{зад}} \quad (4.31)$$

Другой возможной задачей синтеза моделей объектов мониторинга является поиск варианта V_o , обеспечивающего максимум достоверности моделей мониторинга с учетом возможностей получения дополнительной информации при ограничениях на полноту G и затрачиваемое время T . При синтезе оценивается достоверность каждого из j -ых элементов модели:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} R(V_i(K(t)), K(t), \Delta K) \quad (4.32)$$

$$R(V_i) = (1 - \prod_j (1 - R_j(V_i))); G(Z(V_i), R(V_i), \Delta K) \geq G_{\text{зад}}; T(V_i(\Delta K)) \leq T_{\text{зад}} \quad (4.33)$$

Частные задачи трансформации данных мониторинга. При решении задач трансформации данных может требоваться определить такой вариант V_o трансформации, который обеспечит достижение минимума времени, необходимого для обработки данных, при условии, что точность Z преобразования и достоверность R результата будет не ниже требуемой:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \min_{i \in \Omega} T(V_i(K(t)), C(t), t) \quad (4.34)$$

$$Z(R(V_i), t) \geq Z_{\text{зад}}; R(V_i, R(t), C(t), t) \geq R_{\text{доп}} \quad (4.35)$$

В другой постановке задачи трансформации может требоваться определить вариант трансформации V_o , обеспечивающий максимум точности преобразований при ограничениях на отводимые ресурсы U :

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} Z(R(V_i), K(t), C(t), t) \quad (4.36)$$

$$R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{\text{доп}} \quad (4.37)$$

$$U(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \leq U_{\text{зад}} \quad (4.38)$$

Также при решении задач трансформации данных может выполняться поиск варианта трансформации V_o , обеспечивающего максимум информативности контента на единицу объема обрабатываемого потока $K(t)_{\Delta t}$ при ограничениях на время обработки:

$$V_o(t) \in \text{Agr} \max_{i \in \Omega} G(Z(V_i), R(V_i), K_{\Delta 1}(t), K(t), C(t), t) \quad (4.39)$$

$$T(V_i(K_{\Delta 1}(t)), K_{\Delta 1}, K(t), C(t), t) \leq T_{\text{зад}} \quad (4.40)$$

4.5. Обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей мониторинга устройств защитного отключения

Для решения задач многоуровневого синтеза предложен обобщенный алгоритм, позволяющий синтезировать модели объектов в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности. Этот алгоритм позволяет целенаправленно исследовать объект мониторинга с целью восстановления его модели, т.е. определения всех параметров ОКА, описывающих этот объект. Подробное описание алгоритма приведено в работе [102], [103]. Общая структура алгоритма показана на Рисунке 4.8.

Согласно алгоритму вначале формулируются частные задачи синтеза моделей объектов мониторинга в соответствии с требованиями, предъявляемыми ожидаемыми потребителями моделей. Модели могут применяться для идентификации, классификации, распознавания, прогнозирования изменения состояний наблюдаемых объектов, управления ими и решения других задач.

Для построения моделей объектов выполняется контентно-адаптивная обработка информационных потоков, получаемых от наблюдаемых объектов и из других источников. При обработке определяются характеристики контента потоков,

выявляются их особенности. Контекст обработки определяется состоянием среды, в которой функционируют объекты, условиями выполнения обработки, возможностями применяемых систем сбора данных. Значимую роль при обработке может иметь априорная информация об объектах и накопленные статистические данные.

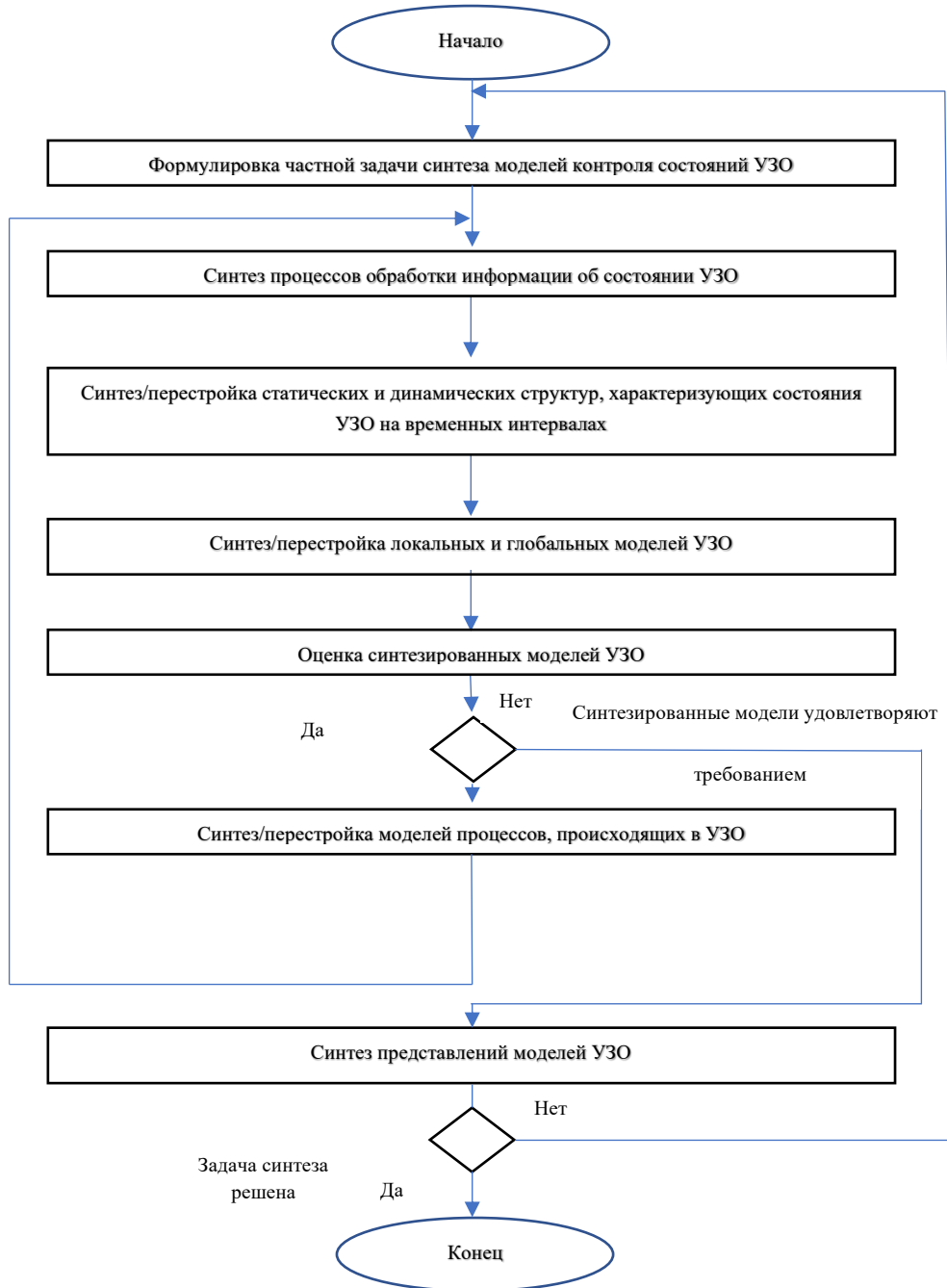


Рисунок 4.8 – Обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей мониторинга состояний УЗО

По результатам обработки данных строятся модели объектов мониторинга или перестраиваются существующие. При высокой динамике изменения состояния среды, наличия у объектов сложного поведения, перестройка моделей объектов выполняется достаточно часто. Для построенных моделей определяются их параметры, выполняется оценка моделей. Выявляются несоответствия между моделями, отражающими фактическое состояние объектов, которое определено на основе информации, извлеченной из контента, и моделями, необходимыми для решения практических задач. В случае, если синтезированные модели не соответствуют требуемым, то определяются данные, необходимые для перестройки имеющихся моделей. Для сбора данных синтезируются процессы мониторинга и соответствующие им программы мониторинга. Цикл, включающий перестройку моделей объектов, процессов и программ выполняется, пока не будут построены требуемые модели или не будет доказано, что их построение не возможно.

При успешном синтезе моделей формируются их представления. Представления содержат часть данных, содержащихся в моделях, которые необходимы для решения потребителями их задач.

Задача синтеза моделей объектов мониторинга считается решенной, если результирующие модели обеспечили решение прикладных задач. При этом полученные решения удовлетворяют критериям эффективности.

При формировании пространств состояний и функциональных пространств определяются допустимые функции и допустимые состояния.

Для решения задач многоуровневого синтеза предложен обобщенный алгоритм, позволяющий синтезировать модели УЗО в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности. Этот алгоритм позволяет целенаправленно исследовать состояния УЗО с целью восстановления его модели, т.е. определения всех параметров конечного автомата УЗО, описывающих его.

Согласно алгоритму вначале формулируются частные задачи синтеза моделей состояния УЗО в соответствии с требованиями, предъявляемыми ожидаемыми потребителями моделей. Модели могут применяться для идентификации,

классификации, распознавания, прогнозирования изменения состояний наблюдаемых УЗО, управления ими и решения других задач.

Предложенный алгоритм определяет основные шаги, выполнение которых позволяют синтезировать модели УЗО в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности. Предложенный подход позволяет определить состояние УЗО, прогнозировать его состояние в составе автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки.

4.6. Алгоритм работы автоматизированной системы предотвращения пожарной и аварийной ситуации, вызванной токами утечки

При создании системы пожарной безопасности на промышленных предприятиях необходимо учитывать следующие аспекты:

- методы и средства предотвращения пожаров и взрывов;
- тушение пожаров в местах их возникновения.

Исходя из этого, на основании разработанных моделей в настоящей диссертационной работе предложена блок-схема алгоритма работы всей системы предотвращения пожарной и аварийной ситуации, вызванной токами утечки в электрооборудовании промышленного объекта Вьетнама (Рисунок 4.9).

Система предназначена для автоматического и централизованного управления процессами бесперебойного режима работы предприятия [18].

АСУТП ЭО осуществляет контроль в следующих режимах работы:

- автоматизированного управления и контроля состояния оборудования электроснабжения производственных объектов;
- в реальном масштабе времени;
- в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах.

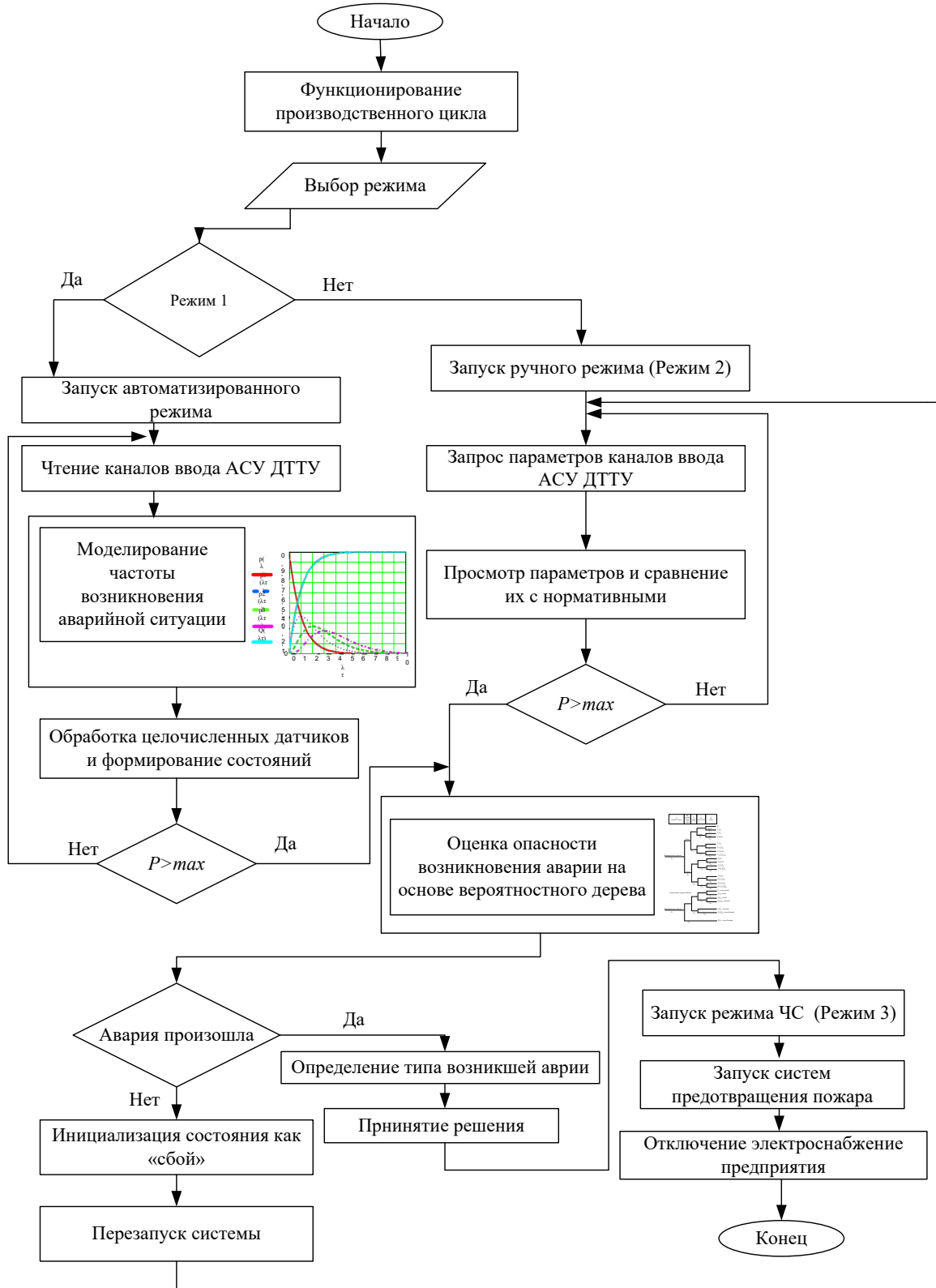


Рисунок 4.9 – Блок-схема алгоритма работы автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, с использованием вероятностной модели УЗО

Первый режим обеспечивает следующие основные временные характеристики выполнения функций:

- время представления режимной и сигнальной информации на экранах рабочих мест, причем время от подачи команды управления до получения подтверждения о её исполнении в условиях наибольшей загрузки электроустановок нижнего уровня и сети не превышает 1,5 с;

- периодичность опроса аналоговых и дискретных сигналов не превышает 0,1 с;

- период обновления информации на средствах индикации не превышает 0,5 с.

Система включает в себя следующие элементы.

Первый уровень - конструктив (шкафы, щиты), включающий в себя:

- сервер (серверы);

- серверные консоли;

- системные блоки АРМов;

- оборудование связи;

- источники бесперебойного питания.

- автоматизированные рабочие места (АРМы);

- принтеры отчетов;

- принтеры событий.

2-й уровень состоит из:

- систем автоматического управления – совокупность оборудования, обеспечивающего подключение УСО, локальных САУ, устройств сбора и передачи данных (УСПД) и прочего оборудования по цифровым каналам и физическим линиям связи, обработку полученных данных, выдачу управляющих воздействий в соответствии с заложенными алгоритмами и передачу данных на верхний уровень;

- систем автоматического управления, комплектно поставляемых с энергетическим оборудованием;

- устройств сопряжения с объектом (УСО);

- GPS/ГЛОНАСС приёмник сигналов точного времени.

Типовая структура автоматизированной системы диспетчерского управления электроснабжением предприятия представлена на Рисунке 4.10.

Взаимодействие системы осуществляется как по проводной сети, так и по беспроводной, обеспечивая при этом двухфакторную защиту системы.



Рисунок 4.10 – Типовая структура автоматизированной системы диспетчерского управления электроснабжением предприятия

Ниже на Рисунке 4.11 представлен интерфейс программного комплекса АСУТП ЭО компьютера диспетчера предприятия.

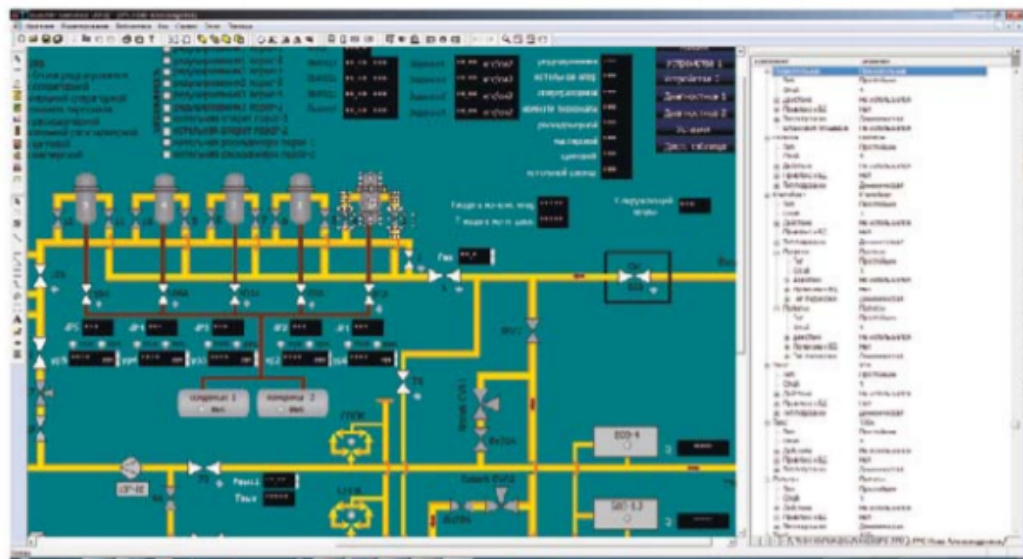


Рисунок 4.11 – Интерфейс программного комплекса, управляющего АСУТП ЭО диспетчера предприятия

Функционирование алгоритма автоматизированной системы предотвращения пожарной и аварийной ситуации, вызванной токами утечки, на основе теоретико-автоматной модели устройства защитного отключения, изображенного на Рисунке 4.6, осуществляется по следующим этапам:

1. В процессе функционирования производственного цикла у системы имеется три режима работы:

- Режим 1 – автоматизированный.
- Режим 2 – ручной.
- Режим 3 – режим ЧС.

2. В повседневном режиме работы промышленного объекта функционирование осуществляется в режиме 1. В данном режиме автоматически происходит чтение каналов ввода электросети. Происходит постоянное чтение и замеры параметров электросети путем применения дифференциального трансформатора тока утечки (ДТТУ) (приложение 1). По данным показателям производится постоянное моделирование частоты возникновения аварийной ситуации, основанное на распределении Пуассона. По полученным данным производится обработка данных. В случае, если показатели частот находятся в допустимых пределах, функционирование производится по ранее изложенному алгоритму.

3. В случае, если контролируемые параметры частот превысили допустимые пределы, происходит оценка опасности возникновения аварии на основе вероятностного построения дерева событий.

4. При возникновении аварии происходит определение типа аварии.

5. При определении типа аварийной ситуации происходит принятие решения диспетчером предприятия и перевод системы в режим 3 (режим ЧС). В данном режиме диспетчер отключает электроснабжение на предприятии и производит запуск систем предотвращения пожара.

6. В случае если система не определила тип аварийной ситуации, данное состояние оценивается как «сбой» и происходит перезапуск системы.

Отличительные особенности режима 2 от режима 1 заключаются в блоке запроса параметров каналов ввода электросети промышленного объекта. Просмотр параметров частот аварийных ситуаций и их моделирование осуществляются в обоих режимах автоматически. Диспетчер по своему решению может в любой момент наблюдать за производственным циклом и в случае необходимости отправлять рабочую группу на профилактические работы электросетей.

Разработанный подход позволяет оценивать эффективность [22] проведения профилактических мероприятий, прогнозировать деятельность системы управления пожарной безопасностью промышленных объектов, выработать определенные требования к ее деятельности для поддержания необходимого показателя эффективности.

Выводы по главе 4

1. Предложена блок-схема алгоритма анализа пожарных, аварийных и нештатных ситуаций на промышленном объекте. Исходя из предложенной блок-схемы разработан алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в электрооборудовании. Предложенный алгоритм позволяет оценить поступающую текущую ситуацию, классифицировать ее и выбрать управляющее воздействие по ее разрешению, тем самым значительно снизить вероятность возникновения пожаров, аварий и аварийных ситуаций в электрооборудовании.

2. На основании данных о частотах отказов УЗО, используя распределение Пуассона, предложена архитектура реализованной АСУТП электрооборудования (АСУТП ЭО) промышленного объекта. Разработан алгоритм работы АСУ комплексом оборудования диагностики УЗО в составе АСУТП ЭО.

3. Предложен подход к применению дифференциального трансформатора тока утечки в составе автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки. Разработан алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки. Предложенный подход позволяет оценивать эффективность проведения профилактических мероприятий, прогнозировать деятельность системы управления пожарной безопасностью промышленных объектов, вырабатывать определенные требования к ее деятельности для поддержания необходимого показателя эффективности.

4. Предложена система взаимосвязанных показателей и критериев эффективности многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга. Система показателей включает показатели эффективности обработки контента информационных потоков, поступающих от наблюдаемых объектов (УЗО), показатели эффективности синтеза моделей объектов мониторинга, а также

процессов и программ мониторинга. На верхнем уровне определяются показатели эффективности решения прикладных задач, среди которых число одновременно наблюдаемых объектов, число успешно решаемых задач, точность и достоверность формируемых результатов, время, затрачиваемое на их получение, объем расходуемых ресурсов. Ключевыми показателями многоуровневого синтеза автоматных моделей выступают полнота синтезируемых моделей и вычислительная сложность их синтеза.

Разработаны модели объектов мониторинга. Модели объектов предложено описывать в дискретных пространствах их состояний в виде относительно конечных операционных автоматов устройств защитного отключения.

Разработан обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей объектов состояния устройств защитного отключения. Алгоритм определяет основные шаги, выполнение которых позволяет синтезировать модели объектов в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности. Предложенный алгоритм определяет основные шаги, выполнение которых позволяет синтезировать модели УЗО в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности. Предложенный подход позволяет определить состояние УЗО, прогнозировать его состояние в составе автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

В диссертационной работе разработаны и формализованы модели и алгоритмы, позволяющие реализовать задачу повышения уровня пожарной безопасности промышленных объектов Вьетнама на основе создания автоматизированных систем предотвращения пожаров при обнаружении и контроле токов утечки в электрооборудовании с использованием теоретико-автоматных и вероятностных моделей устройств защитного отключения.

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Проведен анализ состояния электрооборудования промышленных предприятий Вьетнама. Даны результаты анализа состояния пожарной опасности электрооборудования за период с 2009 по 2020 гг. Выявлено, что число пожаров от электрооборудования на промышленных объектах составляет более 60 % от общего числа пожаров на промышленных объектах Вьетнама. Проведен анализ устройств защитного отключения как средств защиты электрических сетей объектов промышленных предприятий Вьетнама от пожаров. Проведен анализ методов оценки пожарной опасности электрооборудования, а также анализ эффективности различных типов защиты от пожаров при аномальных или предаварийных режимах работы электродвигателей. Приведена единая классификация устройств защитного отключения.

2. На основе теоретико-автоматной модели функционирования устройств защитного отключения определена полная система элементарных автоматов для построения управляющих логических сетей УЗО. Математическая модель объекта моделирования представляет собой композицию моделей исходного объекта и каждой из рассматриваемых его модификаций. Построен граф переходов УЗО, что

позволило синтезировать логическую сеть для реальных оценок работоспособности АСПП.

3. Построена вероятностная модель для описания события возникновения аварии «пожар от электрооборудования», что позволило описать матрицу «вероятность – тяжесть последствий», включающую в себя частоту возникновения отказов и определить редукцию дерева событий. Рассмотрена последовательность событий, которые приводят к аварийному событию в системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта, что позволяет определить коэффициент готовности автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования. Предложенный подход позволяет контролировать УЗО на всех этапах его «жизненного цикла».

4. Разработан алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, на основе вероятностной модели устройств защитного отключения в составе АСУТП электрооборудования предприятия. Предложенный подход позволяет оценивать эффективность проведения профилактических мероприятий, прогнозировать работу системы управления пожарной безопасностью промышленных объектов, вырабатывать требования к ее функционированию для поддержания необходимого показателя эффективности.

5. Разработаны подсистемы, функционирующие в составе АСПП АСУТП электрооборудования, и предложены алгоритмы функционирования АСУ комплексом оборудования УЗО в составе АСУТП электрооборудования предприятия и алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения аварийных ситуаций в электрооборудовании. Предложенные подсистемы и алгоритмы АСПП предприятия позволяют оценить текущую ситуацию, классифицировать ее и выбрать управляющее воздействие, значительно снижающее вероятность возникновения пожаров и аварийных ситуаций в электрооборудовании промышленных предприятий.

6. Разработан и внедрен на промышленных предприятиях Вьетнама комплекс машинных программ автоматизированных систем предотвращения пожаров в электрооборудовании, получивших свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВ – автоматический выключатель

АВР – автоматический ввод резерва

АПР – асептическая пропитка

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСПБ – автоматизированная система пожарной безопасности

АСПП – автоматизированная система предотвращения пожаров

АСУ – автоматизированная система управления

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

АСУЭО – автоматизированная система управления электрооборудованием

ВНИИПО – Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны

ГПС – Государственная противопожарная служба

ЛЭП – линия электропередачи

МВД России – Министерство внутренних дел Российской Федерации

МЧС России – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

ПАК – программно-аппаратный комплекс

ПВХ – поливинилхлорид

ПО – программное обеспечение

ПР – пропитка

ПУЭ – правила устройства электроустановок

РУ – реле утечки

СПВБ – система пожаровзрывобезопасности

СИ – средства измерений

ТО – техническое обслуживание

УЗО – устройство защитного отключения

ЧС – чрезвычайная ситуация

ЭАЗ – электрический аппарат защиты

ЭАЗС – электрический аппарат защиты сети

ЭВМ – электронная вычислительная машина

ЭС – электрическая сеть

ЭУ – электроустановка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: [федер. закон: принят Гос. Думой 4 июля 2008 ред. от 27.12.2018]. – М., 2018. – 114 с.
2. Закон Вьетнама от 29 июня 2001 г. № 27/2001/QН10 «О пожарной безопасности».
3. ГОСТ 12.1.019–2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Издательство стандартов, 2017. – 20 с.
4. ГОСТ 12.1.038.82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 7 с.
5. ГОСТ 12.1.044–2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 2018. – 206 с.
6. ГОСТ 24.104–85. Единая система стандартов АСУ. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 13 с.
7. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2015. – 28 с.
8. ГОСТ Р 50739. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. – М.: Стандартинформ, 1996. – 8 с.
9. ГОСТ Р 50571.3–2009. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – М.: Стандартинформ, 2012. – 26 с.
10. Характеристики огнестойких электрических кабелей: Публикация 331: Рекомендации МЭК / Комитет по участию ССР в международных энергетических объединениях. – М., 1972. – 10 с.
11. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд.: утв. Минэнерго РФ 08.07.2002 г.; введ. 01.01.2003 г. – СПб.: Деан, 2003. – 176 с.

12. ПОТ РМ 016–2001 Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: утв. приказом Минэнерго РФ от 27.12.2000 г. – М.: Энергоиздат, 2001. – 93 с.

13. МИ 2554–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Теплосчетчики. Методика испытаний с целью подтверждения межповерочных интервалов. Общие требования. – М.: ВНИИМС, 1999. – 5 с.

14. Об утверждении правил по охране труда в подразделениях государственной противопожарной службы МЧС России: [приказ МЧС РФ от 31.12.2002 г. № 630]. – М., 2015. – 44 с.

15. Временные указания по применению устройств защитного отключения в электроустановках жилых зданий: письмо Главгосэнергонадзора России от 29.04.97 г. № 42-6/9-ЭТ. Промышленная энергетика. – 1997. – № 9. – С. 50–54.

16. Топольский, Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – 164 с.

17. Абросимов, А.А. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. / И.М. Абросимов, Н.Г. Топольский, А.В. Федоров. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 244 с.

18. Тетерин, И.М. Автоматизация предотвращения пожаров при обнаружении токов утечки в электрооборудовании / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, Т.А. Нгуен, В.В. Белозеров, В.И. Чухно; под общ. ред. Н.Г. Топольского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 121 с.

19. Тетерин, И.М. Основы создания автоматизированных систем пожарной безопасности объектов: учебное пособие / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, А.С. Гудков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – 60 с.

20. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ в деятельности ГПС / Н.Н. Брушлинский. – М.: МИПБ МВД России, 1998.

21. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1998.

22. Костарев, Н.П. Методы оценки пожарной опасности электроустановок: учебное пособие / Н.П. Костарев, В.Н. Черкасов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 107 с.
23. Смелков, Г.И. Снижение пожарной опасности кабельных трасс. Обзорная информация / Г.И. Смелков, В.Ф. Бойцов, И.Ф. Поединцев, В.В. Смирнов. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1990. – 50 с.
24. Смелков, Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М.: Кабель, 2009. – 328 с.
25. Смелков, Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г.И. Смелков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
26. Jagfeld, P. Kabelmitverbesserten Eigenschaftenim Brandfall / P. Jagfeld, S. Reuter. – FDB – Zietschrift, 1989. – P. 16–22.
27. Александров, А.А. О расширении области применения пластмассовых труб для электропроводок / А.А. Александров, Г.И. Зинченко, Г.В. Боков // Экспресс информация ВНИИПО МВД СССР. Пожарная профилактика в технологических процессах и строительстве. – 1982. – №. 5. – С. 3–5.
28. Гришин, Е.В. Оценка пожарной опасности открытых электропроводок, применяемых в пожароопасных зонах / Е.В. Гришин, И.Ф. Поединцев // Сборник трудов ВНИИПО МВД СССР. Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. – 1979. – № 6. – С. 37–40.
29. Минеев, Е.Н. О предотвращении пожаров на промышленных объектах, вызванных токами утечки [Электронный ресурс] / Е.Н. Минеев, А.Н. Минеев // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 2 (42). – 5 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-2/07-02-12.ttb.pdf>
30. Минеев, Е.Н. Автоматизированная система предотвращения аварийных режимов электродвигателей при обнаружении токов утечки и короткого замыкания / Е.Н. Минеев, Нгуен Туан Ань, Нгуен Куанг Тханг // Материалы 4-й Международной науч.-практ. конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015.

31. Монаков, В.К. УЗО. Теория и практика / В.К. Монаков. – М.: Энергосервис, 2007. – 368 с.
32. Ястребенецкий, М.А. Определение надежности аппаратуры промышленной автоматики в условиях эксплуатации / М.А. Ястребенецкий, Б.Л. Соляник. – М.: Энергия, 1968.
33. Топольский, Н.Г. Методика экспериментального определения наработки на отказ электрических аппаратов защиты [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, С.Ю. Бутузов, Е.Н. Минеев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 4 (56). – 6с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/21-04-14.ttb.pdf>.
34. Минеев, А.Н. Беспроводные сенсорные системы обнаружения пожаров на промышленных предприятиях России [Электронный ресурс] / А.Н. Минеев, Е.Н. Минеев, Д.А. Архипов, С.В. Агеев // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 1 (41). – 5 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/08-01-12.ttb.pdf>.
35. Топольский, Н.Г. Автоматизированная система предотвращения аварийных режимов электродвигателей при обнаружении токов утечки и короткого замыкания [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, С.Ю. Бутузов, Е.Н. Минеев // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3 (61). – 6 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/13-03-15.ttb.pdf>.
36. Finger, V. Advances in Fire Hazard Testing of Electrical Equipment / V. Finger // IEEE Electrical Insulation magazine. – 1986. – V. 2. – N 4. – P.128.
37. Farmer, F.R. Experience in the reduction of risk. / F.R. Farmer // Chem. Symposium series. – 1971. – №34. – P. 82–86.
38. Anthony, E.J. The Safety of Self-Heating Materials/ E.J. Anthony, D. Greaney // Combustion Science and Technology. – 1979. – V. 21. – P. 79 – 85.
39. Дранишников, Л.В. Оценка риска возникновения аварии. Міждержавна наукова-методична конференція / Л.В. Дранишников, А.В. Найверт // Проблеми математичного моделювання. – 2004. – С. 56

40. Методика оценки последствий аварий на пожаровзрывоопасных объектах. – М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий, 1994. – 43 с.

41. Морозов, Н.Р. Методические указания по техническому обслуживанию автоматических выключателей серии «Электрон» с полупроводниковыми расцепителями РМТ -1 / Н.Р. Морозов, Б.О. Малийчук. – М.: Союзэнерго, 1989. – 76 с.

42. Морщинов, Е.Д. Диагностирование защитной и пожарно сигнальной электроаппаратуры / Е.Д. Морщинов // Исследование пожарной опасности металлов, конструкций, промышленных объектов. Проблемы противопожарной защиты. – М.: ВИПТШ МВД СССР. – 1990. – С. 80.

43. Карибский, В.В. Основы технической диагностики. Кн.1 /В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоян, В.Ф. Халчев; под. ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

44. Воронова, А.А. Теория автоматического управления. 4.1. Теория линейных систем автоматического управления/ Под ред. А. А. Воронова – М.: Высш.шк., 1977. – 303 с.

45. Тоценко, В.Г. Алгоритмы технического диагностирования дискретных устройств / В.Г. Тоценко. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.

46. Топольский, Н.Г. Разработка теоретических основ и методов декомпозиционного проектирования программируемых матричных дискретных устройств: дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.05 / Топольский Николай Григорьевич. – М., 1984. – 250 с.

47. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации электроустановок зданий и применение устройств защитного отключения. – Издательство МЭИ. – 2002.

48. Шипунов, И.В. Защитное отключение на современном этапе / И.В. Шипунов // Энергия, М., 1968. – С. 73–97.

49. Анисимов, Ю.А. Уравнение кругового магнитного поля в трёхфазных вращающегося трансформаторах тока. Устройства защитного отключения / Ю.А. Анисимов, Г.Н. Малащенко, Н.П. Костарев // *Электричество*. – 2003 – № 10 – С. 49 - 52.

50. Лопатин, В.Г. Измерительные трансформаторы тока в релейной защите: учебное пособие / В.Г. Лопатин, Н.П. Лопатина. – Севастополь: СКУЭ и П., 2011.

51. 1. API RP 505. Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2 // American Petroleum Institute. First edition – November, 1997.

52. Бутузов, С.Ю. Оценка надежности компьютеров в автоматизированных системах пожарной безопасности / С.Ю. Бутузов, А.Ю. Любавский, Нгуен Туан Ань, С.В. Шарабанов. // *Материалы девятнадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» - СБ-2010 Международного форума информатизации*. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2010. – С. 92–94.

53. Павлов, Н.П. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. / Н.П. Павлов. – М.: Химия, 1982. – 190 с.

54. Калинин, В.И. Зажигание полимерных материалов электрическим разрядом / В.И. Калинин, В.С. Борисов // *Сборник трудов ВНИИПО МВД СССР. Пожарная профилактика в электроустановках*. – 1985. – С. 86–90.

55. Белозеров, В.В. Новые средства оценки пожарной опасности и предотвращения пожаров в изделиях электронной техники и электроустановках / В.В. Белозеров, В.Л. Иванников, Н.Г. Топольский, Л.А. Шпак // *В сб. докл. семинара по проблемам пожарной безопасности АЭС (Хмельницкая АЭС, г. Нетешин.)* – М.: Интератомэнерго. – 1992. – С.18–27.

56. Смирнов, В.В. Особенности обеспечения пожарной безопасности токов утечки в кабельных линиях с изолированной нейтралью / В.В. Смирнов // *Тезисы докладов I Международной конференции по электромеханике и электротехнологии МКЭЭ-94*. – Суздаль. – 1994.

57. Колемаев, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский. – М.: Высшая школа, 1991.

58. Бутузов, С.Ю. Оценка надежности функционирования интегрированных автоматизированных систем безопасности интеллектуальных зданий / С.Ю. Бутузов, Н.А. Матвеев, Нгуен Туан Ань, А.В. Слабченко, Н.Г. Топольский // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация – 2009. – № 2.– С. 105–110.

59. Чумаков, Н.М. Оценка эффективности сложных технических устройств / Н.М. Чумаков, Е.И Серебряный. – М.: Сов. Радио, 1980. – 192 с.

60. Яманов, С.А. Старение, стойкость и надежность электрической изоляции/ С.А. Яманов, Л.В. Яманова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 61–62.

61. Белозеров, В.В. ОКТАЭДР: Образцовый криотермический акустикоэмиссионный дериватограф / В.В. Белозеров, С.И. Босый, С.И. Буйло, И.Н. Красновский, В.Н. Мотин, Ю.В. Прус // Сб. мат. 24-й межд конференции Композиционные материалы в промышленности. – Киев: УИЦ Наука, техника, технология. – 2004. – С. 241–244.

62. Белозеров, В.В. Криотермический акустикоэмиссионный комплекс для определения пожаровзрывоопасности материалов / В.В. Белозеров, С.И. Босый, С.И. Буйло, В.Н. Мотин, Ю.В. Прус // Сб. мат. Всерос. науч.-практ. конференции «Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение». – Ростов Н/Д: РГСУ, 2004. – С. 306–312.

63. Кравченко, В.С. Об уровне искробезопасности электрических сетей / А.Т. Ерыгин, В.П. Яковлев, В.В. Давыдов // Безопасность труда в промышленности. – 1975. – № 6. – С. 41–43.

64. FIRE & SAFETY 94 Safety Significance of Plan Internal Fires, In Particular for Older Nuclear Power Plants, Due to Openratind Experience.

65. Намитоков, К.К. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств / К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

66. Карибский, В.В. Основы технической диагностики. Кн.1 /В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев; под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

67. Паперно, Л.Б. Бесконтактные токовые защиты электроустановок / Л.Б. Паперно. – М.: Энергоиздат, 1983. – 112 с.
68. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 468 с.
69. Ревякин, А.И. Электробезопасность и Ниректирование защиты в электроустановках / А.И. Ревякин, Б.И. Кашолкин. – М.: Энергия, 1980. – 160 с.
70. Давыдов, П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
71. Горобец, А.С. Автоматические выключатели серии А3700 / А.С. Горобец, И.Х. Евзров. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 73 с.
72. Гурко, А.И. Программные средства диагностирования ЕС ЭВМ / А.И. Гурко, В.С. Королев, В.С. Кричевич. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 214 с.
73. Цилькер, Б.Я. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов / Б.Я. Цилькер. – СПб.: Питер, 2006. – 668 с.
74. Хопкрофт, Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений; пер. с англ./ Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Дж. Ульман. – М.: Вильямс, 2002. – 527 с.
75. Брауэр, В. Введение в теорию конечных автоматов; пер. с нем. / В. Брауэр. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
76. Гилл, А. Введение в теорию конечных автоматов; пер. с англ./ А. Гилл – М.: Наука, 1966. – 272 с.
77. Карпов, Ю.Г. Теория автоматов: учебник для вузов / Ю.Г. Карпов. – СПб.: Питер, 2002. – 224 с.
78. Короткова, М.А. Математическая теория автоматов: учебное пособие для вузов / М.А. Короткова. – М.: Изд-во МИФИ, 2008. – 116 с.
79. Мелихов, А.Н. Ориентированные графы и конечные автоматы / А.Н. Мелихов. – М.: Наука, 1971. – 416 с.
80. Савельев, А.Я. Основы информатики: учебник для вузов / А.Я. Савельев. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 328 с.

81. Савельев, А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов: учебник для вузов / А.Я. Савельев – М.: Высшая школа, 1987. – 272 с.
82. Лупак, А.М. Теория автоматов: учебное пособие / А.М. Лупак. – СПбГУАП. СПб., 2000. – 119 с.: ил. ISBN 5-8088-0044-7.
83. Хомоненко, А.Д. Базы данных: учебник для высших учебных заведений / А.Д. Хомоненко, В.М. Цыганков, М.Г. Мальцев. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 736 с.
84. Смирнова, Г.Н. Проектирование экономических информационных систем: учебник / Г.Н. Смирнова. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 512 с.
85. Пятибратов, А.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник / А.П. Пятибратов. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 560 с.
86. Петров, В.Н. Информационные системы: учебник для вузов / В.Н. Петров. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
87. Макаров, А.С. Базы данных: Введение в теорию и методологию: учебник / А.С. Макаров, К.Ю. Лисовский. – М.: Финансы и Статистика, 2006. – 512 с.
88. Барановская, Т.П. Информационные системы и технологии в экономике: учебник / Т.П. Барановская, В.И. Лойко, М.И. Семенов, А.И Трубилин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
89. Вендров, А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учебник / А.М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
90. Калашян, А.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / А.Н. Калашян, Г.Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 256 с.
91. Кудрявцев, А.С. Программирование в Delphi: учебное пособие / А.С. Кудрявцев. – ГОУВПО СПбГТУР. СПб., 2011. – 102 с.
92. Топольский, Н.Г. Модель оценки вероятности реализации специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств [Электронный ресурс] / Н.Г.Топольский, А.В. Крючков, Д.С. Грачёв, К.А. Михайлов, Л.З. Нгуен // Технологии техносферной

безопасности. – 2018. – №1 (77). – 8 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-1/09-01-18.ttb.pdf>.

93. Топольский, Н.Г. Синтез типовых программных модулей автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, А.В. Крючков, Д.С. Грачёв, К.А. Михайлов, Л.З. Нгуен // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – №6 (76). – 9 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-6/09-06-17.ttb.pdf>.

94. Топольский, Н.Г. Программный комплекс предотвращения пожаров от электрооборудования на промышленных объектах, вызванных токами утечки / Н.Г. Топольский, А.В. Крючков, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018617802 от 02.07.2018 г.

95. Топольский, Н.Г. Программа управления системой обнаружения пожара в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности объекта / Н.Г. Топольский, А.В. Крючков, В.П. Филиппов, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018618979 от 24.06.2018 г.

96. Тетюшев, А.В. Отказоустойчивые самовосстанавливающиеся информационные системы / А.В. Тетюшев // Информационные технологии моделирования и управления. – 2007. – № 1(35). – С. 120–126.

97. James, C.D. A historical survey of algorithms and hardware architectures for neural-inspired and neuromorphic computing applications / C.D. James, J.B. Aimone, N.E. Miner, C.M. Vineyard, F.H. Rothganger, K.D. Carlson, S.A. Mulder, T.J. Draelos, A. Faust, M.J. Marinella, J.H. Naegle, S.J. Plimpton // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. – 2017. – V. 19. – P. 49–64. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.bica.2016.11.002>.

98. Osipov, V. Automatic Synthesis of Multilevel Automata Models of Biological Objects / V. Osipov, M. Lushnov, E. Stankova, A. Vodyaho, Yu. Shichkina, N. Zhukova // *Proceedings of International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2019)*. – Springer, Cham., 2019. – P. 441–456.

99. Osipov, V.Yu. Distributed Technical Object Model Synthesis Based on Monitoring Data / V.Yu. Osipov, A.I. Vodyaho, N.A. Zhukova, M. Tianxing, S. Lebedev //

International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS). – 2019. – V. 10. – Iss. 3. – Art. 3. – P. 27–43.

100. Osipov, V. Inductive Synthesis of the Models of Biological Systems According to Clinical Trials / V. Osipov, M. Lushnov, E. Stankova, A Vodyaho // International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017). Lecture Notes in Computer Science. – Springer, Cham. – 2017. – Vol. 10404. – P. 103–115.

101. Осипов, В.Ю. Синтез моделей природных объектов по данным наблюдений / В.Ю. Осипов, А.И. Водяхо, А.Б. Тристанов, Н.А. Жукова, О.О. Луковенкова // Вестник КРАУНЦ. – 2018. – № 4 (24). – С. 1–12.

102. Жукова, Н.А. О возможностях синтеза многоуровневых моделей объектов / Н.А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2019. – № 10. – С. 16–21.

103. Жукова, Н.А. Общая и частные задачи многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга/ Н.А. Жукова // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2019. – № 11. – С. 16–22.

104. Жукова, Н.А. Проблема когнитивного мониторинга распределенных объектов / Н.А. Жукова, Н.Р. Андриянова // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2019. – № 2. – С. 18–29.

105. Zhukova, N.A. Cognitive Monitoring of Distributed Objects / N.A. Zhukova, N.R. Andriyanova // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2019. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 32–43.

106. Топольский, Н.Г. Теоретико-автоматные модели функционирования автоматических выключателей в АСУ противопожарной защиты. / Н.Г. Топольский, Е.Д. Морщинов, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен. М.: Академия ГПС России., 2020. – 120 с.

Приложение А. Физические и теоретические основы работы безбалансных дифференциальных трансформаторов тока в автоматизированной системе управления электрооборудованием промышленных объектов

Дифференциальный трансформатор тока утечки (ДТТУ) является функциональным устройством, чувствительным к току утечки в однофазных и трехфазных сетях переменного тока [1,2].

ДТТУ, как наиболее эффективное устройство от поражения человека электрическим током и противопожарной защиты, нашло применение в устройствах защитного отключения (УЗО), производимых и эксплуатируемых в настоящее время.

В основе действия УЗО лежит принцип обнаружения и быстрого отключения нагрузки при протекании токов утечки, превышающих допустимые значения.

Из всех известных электротехнических средств защиты УЗО является единственным устройством, не требующим дополнительного источника питания, так как ДТТУ трансформирует ток утечки I_{ym} в сигнал, пропорциональный току утечки kI_{ym} , который поступает на обмотку чувствительного поляризованного реле.

Очевидно, что ток срабатывания поляризованного реле должен быть в несколько раз больше тока небаланса, иначе невозможно будет включить электроустановки больших мощностей с большими пусковыми токами УЗО.

Если пренебречь поверхностями эффектора и эффектора близости и считать, что одна часть магнитного потока рассеивания Φ_r замыкается (основная часть) по магнитопроводу, то другая часть Φ_r потока не влияет на l_k .

На чувствительность исполнительных устройств влияет ориентация проводников сети и вторичной обмотки. Если проводники сети воздействия магнитных потоков рассеяния зависят от токов нагрузки, то может происходить ложное срабатывание реле или наоборот несрабатывание реле, так как не учитывается влияние возникающей помехи. Поток рассеяния могут насыщать магнитопровод ДТТУ и препятствовать их срабатыванию от I_{ym} .

В представленной работе рассматривается метод, позволяющий компенсировать первичные и вторичные потоки рассеяния от токов нагрузки, являющихся помехой, что поясняется на Рисунке 4.5, и гальванически выделить разностный ток, пропорциональный току утечки от токов нагрузки.

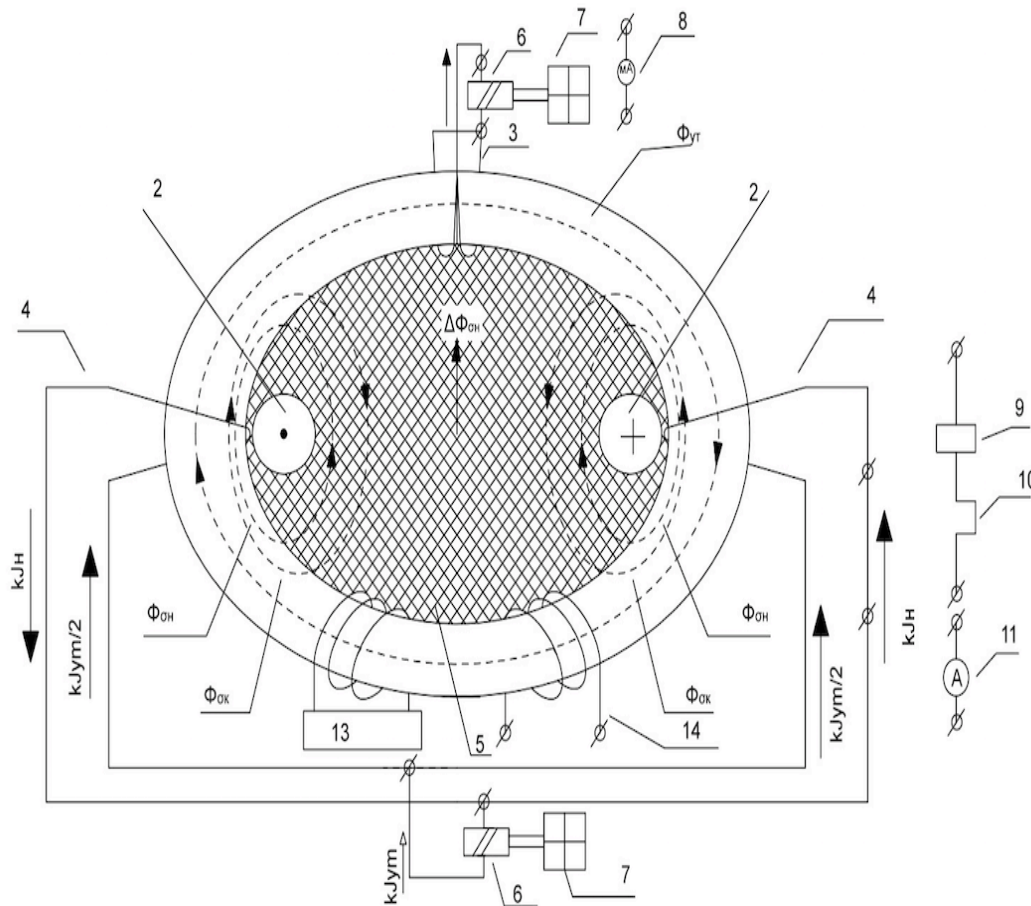


Рисунок 1 – Дифференциальный трансформатор тока утечки, входящий в состав АСУЭО

Дифференциальный трансформатор тока утечки (ДТТУ), согласно Рисунку 4.5, содержит тороидальный сердечник 1 из магнитомягкого материала и проходящие через него фазный и нулевой провода 2, являющиеся первичной обмоткой ДТТУ.

Перпендикулярно горизонтальной оси расположена вторичная токовая обмотка 3, состоящая из двух секций, с равным числом витков, соединённых параллельно и расположенных на одинаковом расстоянии относительно

вертикальной оси для компенсации флуктуационных помех $\Delta \Phi_{\sigma H}$ от потоков рассеяния Φ_{σ} .

Ещё одна вторичная обмотка 4, смещена на оси тороида на 90^0 по отношению к вторичной обмотке 3 и состоит из двух секций, с равным числом витков. Секции расположены совместно с проводниками сети по горизонтали и соединены параллельно, находятся между проводниками сети и магнитопроводом.

Для придания конструкции трансформатора жёсткости в окне сердечника 1 установлен держатель 5 из электроизоляционного материала.

В электрическую цепь короткозамкнутой обмотки 3 включена обмотка поляризованного реле 6, которая приводит к действию устройство защитного отключения 7 при возникновении тока утечки. Вторичные обмотки 3 и 4 можно использовать для подключения приборов контроля 8, 9, 10 и 11 и/или исполнительных устройств аналогично (Рисунок 1).

Принцип действия предлагаемого дифференциального трансформатора тока заключается в следующем. В отсутствие тока утечки основной магнитный поток в магнитопроводе 1 трансформатора равен нулю, так как сумма фазного тока и тока нейтрали равна нулю. Но так как по проводникам 2 первичной обмотки протекают токи, то вокруг них пульсируют магнитные потоки рассеяния $\Phi_{\sigma H}$ и $\Phi_{\sigma 0}$, направления которых показаны на Рисунке 1 и которые наводят одинаковые ЭДС помехи E_n (небаланса), пропорциональные току нагрузки I_n в секциях обмотки 4. Направление E_n , связано с направлением магнитных потоков правилом «буравчика» (Рисунок 1). Если секции обмотки 4 соединить параллельно, то в них будет протекать ток, пропорциональный току нагрузки kI_n . Это приводит к образованию потоков $\Phi_{\sigma K}$, который компенсирует $\Phi_{\sigma H}$.

Недостатком этого дифференциального трансформатора тока является то, что фазные проводники создают пульсирующее магнитное поле по вертикальной (или продольной) оси $\Delta \Phi_{\sigma H}$, который в магнитопроводе дифференциального

трансформатора тока зависит от величины рабочего тока нагрузки I_n , внутреннего диаметра трансформатора по воздуху $2R$ и сечения его магнитопровода S , поэтому в обмотке 3 имеет место сигнал небаланса (помехи), но он намного меньше, чем $\sum \Phi_{\sigma H}$, кроме этого секции обмотки 3 соединяются параллельно и располагаются в зонах ослабленного поля $\Delta\Phi_{\sigma H}$, так как в зоне этого потока на границе его раздела имеет место флуктуация, они компенсируются. На ее выходе формируется сигнал E_{ym} , пропорциональный току утечки.

При появлении тока утечки I_{ym} создаётся поток $\Phi_{ут}$, который замыкается по магнитопроводу трансформатора и согласно принятому на Рисунке 4.5 направлению в обмотке 3 наводит ЭДС E_{ym} , пропорциональный току утечки I_{ym} , в секциях обмотки 4, они взаимно компенсируются, так как они включены встречно, поэтому на сигнал $2 E_{\sigma H}$ в этой обмотке никакого влияния не оказывают.

Представленная конструкция ДТТУ позволяет гальванически разделить сигнал утечки, пропорциональный току утечки в обмотке 3, в зоне слабого влияния $\Phi_{\sigma H}$ и сигнал небаланса (помехи), пропорциональный току нагрузки в обмотке 4, но потоки $\Phi_{\sigma H}$ намагничивают боковые части серденика ДТТУ и препятствуют потоку Φ_{ym} сигнала чувствительности к Φ_{ym} , особенно в горизонтальной части ДТТУ. Аналогичные процессы происходят и в 3-х проводных и четырех проводных ДТТУ.

Применение короткозамкнутых витков 4, соединённых по типу «беличье колесо», расположенных на пути потоков рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ пульсирующих с частотой сети, компенсируют эти потоки за счет индуктируемой в них ЭДС и токов от их действия, которые создают потоки $\Phi_{\sigma K}$ противоположно направленные $\Phi_{\sigma 1}$.

Направление потоков $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$ для момента времени $\omega t = \pi/6$, и направления токов к I_n в обмотках 4, сумма их равна нулю, так же как токов нагрузки $I_a + I_b + I_c = 0$.

При появлении тока утечки создаётся поток $\Phi_{ут}$, который замыкается по магнитопроводу и согласно принятому направлению, наводит в обмотках 3 и 4 $E_{ут}$, пропорциональный току утечки.

На основании закона полного тока можно представить формулу, выражающую зависимость $\sum \Phi_{\sigma H}$ от I_H

$$\sum_{i=1}^k (H_{KB} l_{KB} + H_{KMП} l_{KMП}) = I_H, \quad (1)$$

согласно которому сумма магнитных напряжений на отдельных участках равна намагничивающей силе,

где H_{KB} – напряженность по воздуху вокруг проводника в воздухе;

l_{KB} – длина магнитной линии вокруг проводника в воздухе;

$H_{KMП}$ – напряженность в магнитопроводе;

$l_{KMП}$ – длина магнитной линии в магнитопроводе.

Если принять $\Delta \Phi_{\sigma KB} = \Delta \Phi_{\sigma KMП}$ и $\Delta \Phi_{\sigma BH} = \Delta \Phi_{\sigma MП}$;

$\sum \phi_{\sigma}$ суммируется на внутренней поверхности МП и концентрируется в его горизонтальной части

$$\mu_0 = 1,256 * 10^{-6} \Gamma_H / M \quad (2)$$

$R_M = 1/\Gamma_H$; – магнитное сопротивление участка магнитной цепи $l/\mu_0 \mu S$;

Φ -Вб;

и произвести замену переменных в выражении (1);

$$H_k = B/\mu = \Phi_{\sigma k} / S_k \mu \quad (3)$$

$S_{KMП} = h(R_2 - R_1)$; – сечение магнитопровода , h – высота магнитопровода;

R_2 , R_1 - внутренний и наружный радиус МП

$$\sum S_{KB} = k S_{KMБ} = \pi R_1 h \quad (4)$$

– внутренняя поверхность тора,

то магнитный поток Φ_{σ} по воздуху и магнитопроводу можно представить следующим образом:

$$\Phi_{\sigma} = I_H / \sum (l_{KB} / \mu_0 S_{KB} + l_{KMП} / \mu \mu_0 S_{KB}) \quad (5)$$

Считаем, что проводники первичной обмотки расположены посередине в каждой половине магнитопровода тора (рис. 1). Тогда l_{min} по воздуху равно $2R_1$, а

$$l_{max} = \pi R_1 \quad (6)$$

так как Φ_σ прилегает к внутренней поверхности тора, средняя длина магнитной линии по воздуху в магнитопроводе;

$$l_{cp} = (\pi R_1 + 2R_1)/2 \approx 2,5 R_1 \quad (7)$$

$\sum S_{KB} = 0,25$ – внутренней поверхности тора, т.е. $\pi R_1 h$

$$S_{МП} = (R_2 - R_1)h. \quad (8)$$

Используя принятые средние значения, проведем расчет Φ_σ для магнитопровода из пермалоя 79НМ:

Второе слагаемое в знаменателе формулы (8) значительно меньше первого, даже на начальном участке петли гистерезиса, т.к. $\mu \gg \mu_0$ и им можно пренебречь, тогда

$$\Phi_\sigma = I_n \mu_0 S_{вн.мп} / l_{cp.b.} = I_n \mu_0 \cdot \pi R_1 h / 2,5 R_1 = I_n \mu_0 \cdot \pi h / 2,5. \quad (9)$$

В этом выражении Φ_σ зависит от h . Сечение R_{np} целесообразно выбирать максимальным для лучшего заполнения окна сердечника ДТТУ, прохождения большего тока I_n при фиксированных габаритах сердечника ДТТУ.

Определим $\Phi_{yт}$ по известному выражению

$$\Phi_{yт} = (\mu \mu_0 I_{yт} h / 2\pi) \ln(R_1 / R_2) = (\mu \mu_0 I_{yт} h / 2\pi) \ln 1,2 = (\mu \mu_0 I_{yт} h / 2\pi) 0,1823. \quad (10)$$

От высоты магнитопровода и отношения R_2 / R_1 зависит $\Phi_{yт}$ который пропорционален $I_{yт}$.

$$\Phi_\sigma / \Phi_{yт} = I_n \mu_0 \cdot \pi h \cdot \pi / 2,5 \mu \mu_0 I_{yт} h \cdot 0,1823 = I_n \pi^2 / \mu I_{yт} \cdot 0,584. \quad (11)$$

Если $\mu = 3 \cdot 10^4$ и $I_{yт} = 10 \cdot 10^{-3}$ то

$$\Phi_\sigma = I_n \pi^2 \Phi_{yт} / 300 \cdot 0,365 = I_n (9,86 / 109,5) = 0,14 I_n \Phi_{yт}, \quad (12)$$

т.е. $I_n = 10$ А, $\Phi_\sigma = 1,4 \Phi_{yт}$.

При изменении тока нагрузки происходит линейное изменение магнитного потока рассеяния.

В соответствии с ГОСТ Р 50807–95 основные рекомендуемые параметры для УЗО следующие:

U_n - номинальное напряжение 220В и 380В;

I_n - номинальное ток нагрузки 6А; 16А; 25А; 40А; 63А; 80А; 100А; 125А.

$I\Delta n$ - номинальный отключающий дифференциальный ток 0,006А; 0,01А; 0,03А; 0,1А; 0,3А; 0,5А.

$I\Delta n_0$ - номинальный неотключающий дифференциальный ток равен $0,5 I\Delta n$.

Экспериментальная оценка Φ_σ и $\Phi_{УТ}$ проводилась на вышеуказанном магнитопроводе, в котором соосно с проводниками первичной обмотки наматывались витки вторичной обмотки по одному с каждой стороны, которые соединялись двумя способами. В первом способе по первичной обмотке 1 пропускали ток $I_n = 25$ А и $I_n = 125$ А, а обмотки 4 соединяли последовательно по отношению Φ_σ , чтобы складывать l_τ в разрыв включали сопротивление нагрузки $R_n = 1$ Ом. Ток утечки $I_{ym} = 0$. Измеренное напряжение на нагрузке составляю $U_n = 2$ Мв и 6 Мв, к $I_{ym} \rightarrow$ т.е. 2 мА и 6 мА. Во втором способе $I_n = 0$, а по дополнительному проводнику, пропущенному через окно ДТТУ, пропускали ток, который имитировал ток утечки $I_{ym} = 22$ мА и 90мА к $I_{ym} \rightarrow$ т.е. 2 мА и 6 мА, а обмотки 4 соединяли последовательно и в их цепь включали сопротивление $R_n = 1$ Ом. Измеренное напряжение $U_n = 2$ мВ и 6 мВ. Эксперимент подтверждает, что существуют сигналы от токов нагрузки в проводниках сети, которые являются первичной обмоткой ДТТУ и от токов утечки на сопротивлении нагрузки 10 Ом. Поток Φ_σ соизмеримы с $\Phi_{УТ}$, их надо уменьшать.

Для работы ДТТУ характерно то, что он работает в режиме трансформатора тока для $\Phi_{УТ}$ тока утечки нелинейной индуктивности с сердечником с короткозамкнутой обмоткой Φ_k от I_n .

Φ_k соизмерим с Φ_σ ; противоположен по направлению, компенсирует Φ_σ и работает в режиме идеального короткого замыкания, так как $Z_k = 0$, но $I_k \ll I_n$, и т.к.:

$$\Phi_k = \mu_0 S_{\text{тора}} I_k / l_k, \quad (13)$$

$$\Phi_\sigma = \mu_0 S_{\text{вн. тора}} I_H / l_\sigma. \quad (14)$$

Из условия $\Phi_k = \Phi_{\text{УТ}}$ можно определить $I_k = I_{\text{УТ}}$ и из 4.22 и 4.23.

$$I_k = k I_H l_k / l_\sigma. \quad (15)$$

где l_σ - средняя длина Φ_σ равная $2,5R_1$ определить I ;

l_k - зависит от диаметра к.з. проводников с учетом эффектов близости проводников, т.к. $\Phi_k = \Phi_\sigma$, $S_{\text{тора}} = (R_2 - R_1) h$; $S_{\text{вн. тора}} = \pi R_1 h$

Резюмирую вышеизложенное, можно заключить следующее:

- предложен метод, позволяющий компенсировать возникающие потоки рассеяния с помощью короткозамкнутых витков, соединенных в обмотку по типу беличьего колеса, выполняющего функцию фильтра от потоков рассеяния;

- обмотка из короткозамкнутых витков снижает намагниченность магнитопровода и не препятствует прохождению потока $\Phi_{\text{УТ}}$, что обеспечивает повышение чувствительности и надежности срабатывания УЗО;

- если имеют место токи утечки $I_{\text{УТ}}$, то они создают результирующий поток $\Phi_{\text{УТ}}$, который наводит эдс $E_{\text{УТ}}$, обеспечивая стабильность работы УЗО;

- если в обмотки короткозамкнутых витков, включенных по типу беличьего колеса, включить обмотку реле, то будет протекать ток $I_{\text{УТ}}$, а в каждом витке - $I_{\text{УТ}} / n$, где n - количество витков в обмотке;

- если использовать вторичные короткозамкнутые витки, то одновременно можно контролировать токи нагрузки с гальванической развязкой электрических цепей.

Предложенная конструкция позволяет:

- использовать ДТТУ для защиты силовых электрических приёмников на различных участках сетей с учётом селективности;

- исключить останов электроснабжения и электрооборудования для контроля сопротивления изоляции;

- расширить функциональные возможности, включая в разрыв короткого замыкания вторичных обмоток тепловые реле, электромагнитные расцепители, омметры;
- уменьшить габариты автоматов защиты и управления;
- обеспечить контроль, защиту технологических параметров используя высокочастотные и цифровые датчики утечки тока.

Приложение Б. Свидетельства о Государственной регистрации программ
для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018617802

**«Программный комплекс предотвращения пожаров от
электрооборудования на промышленных объектах,
вызванных токами утечки»**

Правообладатели: *Топольский Николай Григорьевич (RU), Минеев
Евгений Николаевич (RU), Крючков Алексей Вячеславович (RU),
Нгуен Ле Зуй (RU)*

Авторы: *Топольский Николай Григорьевич (RU), Минеев Евгений
Николаевич (RU), Крючков Алексей Вячеславович (RU), Нгуен
Ле Зуй (RU)*

Заявка № **2018615772**
Дата поступления **30 мая 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **02 июля 2018 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018618979

«Программа управления системой обнаружения пожара в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности объекта»

Правообладатели: *Топольский Николай Григорьевич (RU), Крючков Алексей Вячеславович (RU), Филиппов Владимир Павлович (RU), Михайлов Кирилл Андреевич (RU), Нгуен Ле Зуй (RU)*

Авторы: *Филиппов Владимир Павлович (RU), Топольский Николай Григорьевич (RU), Крючков Алексей Вячеславович (RU), Михайлов Кирилл Андреевич (RU), Нгуен Ле Зуй (RU)*



Заявка № 2018615955

Дата поступления 30 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 июля 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

Приложение В. Акты внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника ГУПО
и АСС МОБ СРВ
к.т.н., старший полковник



Нгуен Минь Хьонг

« 28 » 06 2020 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы преподавателя ИПБ МОБ Вьетнам, старшего лейтенанта милиции Нгуен Ле Зуй, представленной к защите по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки, отрасль – промышленность)

Комиссия в составе:

Председателя - майор милиции Нгуен Минь Тиен, заместитель начальника отдела проверки и подтверждения в области пожарной безопасности ГУПО и АСС Вьетнама,

Членов комиссии:

к.т.н., майор милиции Нгуен Тхань Туан, сотрудник отдела проверки и подтверждения в области пожарной безопасности ГУПО и АСС Вьетнама,

к.т.н., капитан милиции До Тхань Тунг, сотрудник отдела проверки и подтверждения в области пожарной безопасности ГУПО и АСС Вьетнама,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования старшего лейтенанта Нгуен Ле Зуй на тему «Теоретико автоматные модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах противопожарной защиты электрооборудования промышленных предприятий» использованы при разработке нормативных документов, регламентирующих требования пожарной безопасности во Вьетнаме, и исследования автоматизированной системы предотвращения пожаров.

Председатель комиссии:

Заместитель начальника отдела проверки
и подтверждения в области пожарной
безопасности ГУПО и АСС Вьетнама
майор милиции



Нгуен Минь Тиен

Члены комиссии:

Сотрудник отдела проверки и
подтверждения в области пожарной
безопасности ГУПО и АСС Вьетнама
майор милиции



Нгуен Тхань Туан

Сотрудник отдела проверки и
подтверждения в области пожарной
безопасности ГУПО и АСС Вьетнама
капитан милиции



До Тхань Тунг

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
Цементного завода БимШон



Фам Ван Фьонг

«17» 10 2020 г.

АКТ

о практическом использовании результатов диссертационной работы преподавателя ИПБ МОБ Вьетнама, старшего лейтенанта милиции Нгуен Ле Зуй, представленной к защите по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки, отрасль – промышленность)

**Комиссия в составе:**

Председатель:

Ву Ван Хюэ – Начальник отдела по промышленной безопасности

Члены:

1. Нгуен Чи Тхык – Начальник технического отдела
2. Нгуен Ван Шан – Заместитель начальника технического отдела
3. Зыонг Ван Танг – Заведующий по пожарной безопасности

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Нгуен Ле Зуй использованы:

1. при совершенствовании системы пожарной безопасности;
2. при создании системы косвенного измерения токов утечки в работающем электрооборудовании, системы измерения параметров работающего электрооборудования;
3. при прокладке электрической сети и выборе электрических аппаратов для защиты электросети от аварийных режимов работы

электрооборудования на участке оперативно-диспетчерского управления электроснабжением;

4. при технической реализации автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования.

Председатель комиссии



Бу Ван Хюэ

Члены комиссии



Нгуен Чи Тхык



Нгуен Ван Шан



Зыонг Ван Танг



«УТВЕРЖДАЮ»

Начальника института пожарной
безопасности МОБ СРВ
к.т.н., генерал-майор милиции



Ле Куанг Бон

« 22 » 04 2020 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы адъюнкта Академии
ГПС МЧС России Нгуен Ле Зуй, представленной к защите по специальности
05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (технические науки, отрасль – промышленность)

Комиссия в составе:

Председатель – подполковник милиции, доцент Нгуен Туан Ань,
заместитель начальника кафедры пожарной тактики ИПБ Вьетнама.

Члены комиссии:

майор милиции, к.т.н., Чу Куок Минь, сотрудник учебного отдела ИПБ
МОБ Вьетнама

майор милиции, к.т.н., Фан Ань, начальник кафедры пожарной
безопасности в строительстве ИПБ МОБ Вьетнама

подтверждают, что в Институте пожарной безопасности МОБ СР
Вьетнама с целью повышения уровня подготовки специалистов внедрены в
учебный процесс результаты 2-й главы диссертации «Синтез конечных
автоматов для композиции устройств защитного отключения в
автоматизированных системах противопожарной защиты
электрооборудования», а именно:

1. результаты анализа пожарной опасности промышленных объектов
Вьетнама в целом и электрооборудования в частности как объекта
автоматизации, включающей статическую оценку пожаров на этих объектах.

2. результаты анализа процессов старения изоляции
электрооборудования вследствие токов утечки.

3. структура автоматизированной системы предотвращения аварийных

предпожарных режимов с использованием защиты от токов утечки и алгоритм ее функционирования.

Заместитель начальника факультета пожарной
тактики
к.т.н., доцент
подполковник милиции



Нгуен Туан Ань

Сотрудник учебного отдела
к.т.н.,
майор милиции



Чу Куок Минь

Начальник кафедры ПБС
к.т.н.,
майор милиции



Фан Ань

Утверждаю

Заместитель начальника Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России по научной
работе, д.т.н., профессор

М.В. Алейников

« 05 »

07

2021



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Нгуен Ле Зуя «Модели устройств защитного отключения в автоматизированных системах предотвращения пожаров электрооборудования промышленных предприятий Вьетнама» на соискание ученой степени кандидата технических наук, представленной к защите по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Сатина Алексея Петровича, и членов комиссии – заместителя начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Мокшанцева Александра Владимировича, доцента кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н. Минеева Евгения Николаевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Нгуен Ле Зуя внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а именно: вероятностные модели оценки надежности автоматизированных систем предотвращения возгорания электрооборудования, основанные на построении дерева событий отказа устройства защитного отключения промышленных объектов.

Практические результаты диссертации внедрены в дисциплину «Моделирование процессов и систем» на кафедре информационных технологий для факультета техносферной безопасности в рамках выполнения лабораторных работ по теме: «Доступ к COM серверам Microsoft Office из Delphi».

Предложенный Нгуен Ле Зуем подход позволяет выявлять аварийный режим в системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта, приводящий к отказу, а также определить коэффициент го-

товности системы. Доказательством результативности работы служат апробации в виде свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ:

- № 2018618979 от 24.06.2018 г. / Программа управления системой обнаружения пожара в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности объекта / Топольский Н.Г., Нгуен Ле Зуй и др.

- № 2018617802 от 02.07.2018 г. / Программный комплекс предотвращения пожаров от электрооборудования на промышленных объектах, вызванных токами утечки / Топольский Н.Г., Нгуен Ле Зуй и др.

Председатель комиссии
Начальник кафедры ИТ
УНК АСИТ
к.т.н., доцент



А.П. Сатин

Члены комиссии
Заместитель начальника кафедры ИТ
УНК АСИТ
к.т.н., доцент



А.В. Мокшанцев

Доцент кафедры ИТ
УНК АСИТ
к.т.н.



Е.Н. Минеев