

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (Академия ГПС МЧС России)

Научный руководитель: заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Топольский Николай Григорьевич

Официальные оппоненты: **Танклевский Леонид Тимофеевич**,
доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, кафедра «Пожарная безопасность»,
заведующий

Самарин Илья Вадимович
кандидат технических наук, доцент,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
кафедра автоматизации технологических процессов,
доцент

Ведущая организация: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Защита состоится 26 ноября 2021 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 04.2.002.01 (Д 205.002.01) при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/322/322db0296d79915433d06891da4f6dd8.pdf>

Автореферат разослан «29» сентября 2021 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью в двух экземплярах просим направить в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

ВрИО ученого секретаря
диссертационного совета
д.т.н., доцент



А.Л. Холостов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, низкую 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 стораемой 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 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 гг.), научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017-2021 гг.), 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность работы, сформулированы цели и задачи, определена структура, показана научная новизна работы, практическая ценность.

В главе 1 «Анализ современного состояния пожарной безопасности электрооборудования промышленных объектов Вьетнама» анализируется обстановка с пожарами, количество пожаров на промышленных предприятиях, количество погибших, материальный ущерб, а также состояние электрооборудования промышленных предприятий. Проведен анализ обстановки с пожарами от электрооборудования на промышленных объектах за последние 10 лет.

Ежегодно во Вьетнаме от электротехнических изделий происходит более 1000 пожаров; это составляет 35–40% к общему числу пожаров в стране. На промышленность приходится от 10 до 20 % от общего числа пожаров.

Одной из особенностей промышленных предприятий является то, что 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).

Одной из особенностей промышленных предприятий является наличие большого количества электрооборудования, создающего опасность

возникновения крупных аварий, сопровождающихся пожарами и взрывами.

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 %).

Проведен анализ пожарной опасности электротехнических изделий. Выявлено, что первое место по числу пожаров с большим опережением занимают изделия кабельной промышленности. Зачастую данные пожары связаны с токами утечки и коротким замыканием. Причины загорания электроустановок зависят от теплового проявления электрического тока и горючести электроизоляционных материалов.

Выявлено, что на промышленных предприятиях проблема снижения пожаров от электрооборудования является весьма значимой из-за неудовлетворительного технического состояния электрических сетей и низкого уровня эксплуатации и контроля.

Проведен анализ условий, влияющих на отказы электрических средств защиты. Основными причинами отказов электрических средств защиты являются: несрабатывание приводов, механические повреждения, износ дугогасительных камер, обгорание контактов, пробой изоляции при внешних и внутренних перенапряжениях, а также влияние климатических условий.

Проведен анализ существующих средств защиты электрических сетей от токов утечки. Выполнено сравнение различных устройств защиты от аварийных режимов работы электродвигателей.

Исследованы рабочие алгоритмы функционирования устройств защитного отключения и сделан анализ возможного перехода их из одного внутреннего состояния в другое под воздействием внешних и внутренних сигналов. Выявлено, что электрические уставки и уставки времени являются исходными данными, влияющими на алгоритм функционирования УЗО. Уставки разбивают значение физической переменной на две области и определяют зависимость между этой переменной и ее логическим отображением.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что УЗО являются логическими устройствами и к ним можно применить теоретико-автоматные модели. В первом разделе диссертации произведена классификация УЗО.

В результате проведенных исследований определены и сформулированы основные задачи, которые необходимо решить для достижения цели исследования.

В главе 2 «Модели конечных автоматов для устройств защитного отключения в автоматизированных системах противопожарной защиты электрооборудования» проведен синтез конечного автомата для полной

композиции УЗО и выполнен блочный синтез автомата, содержащего все блоки, которые имеются в УЗО.

Устройство защитного отключения (УЗО) является подсистемой автоматизированной системы предотвращения пожаров и должно взаимодействовать с ней на начальной стадии возникновения пожарной и электрической опасности. С этой целью при срабатывании УЗО, 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 (Рисунок 1).

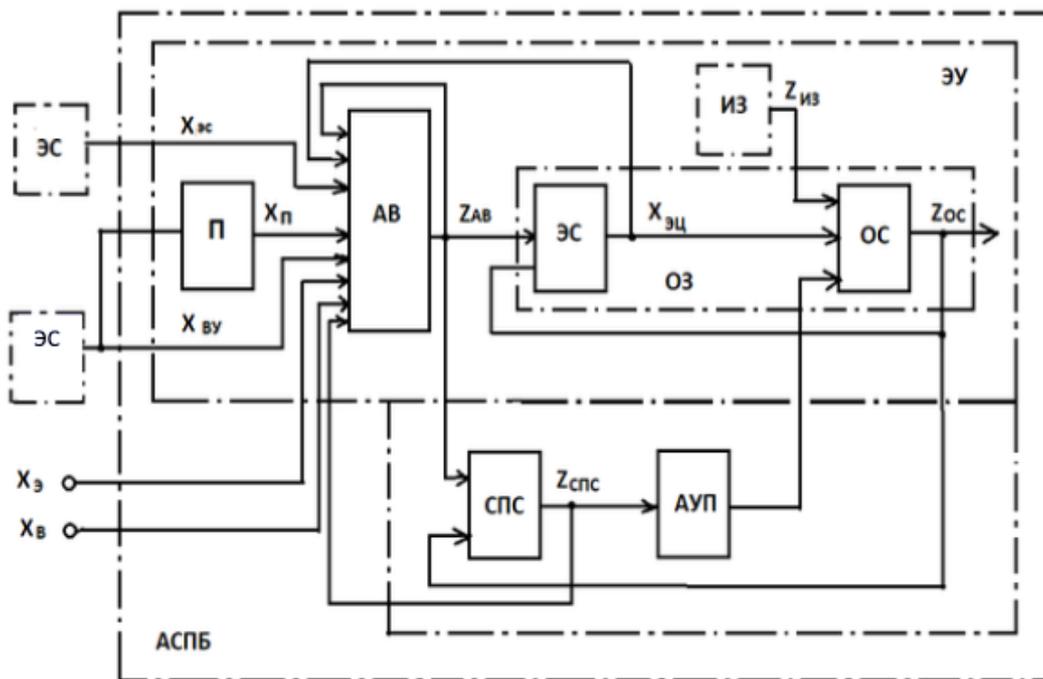


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы пожарной безопасности электроустановок

Для реализации указанных функций на входы УЗО подаются сигналы $X_{эс}$, X_n , $X_{ву}$ 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.

Модель устройства защитного отключения как конечного автомата определяется как кортеж:

$$G = (Q, X, Z, \delta, \lambda), \quad (1)$$

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 [9,56].

Множества Q , X , Z называются соответственно внутренним, входным и выходным алфавитами.

Результатом проведенных исследований являются конечные автоматы для полной системы функциональных частей и гомоморфные автоматы для композиции устройств защитного отключения. Полученные данные необходимы для логического синтеза УЗО как подсистем АСПП.

Построены графы переходов УЗО, что позволило синтезировать логическую сеть для реальных оценок работоспособности АСПП (Рисунок 2).

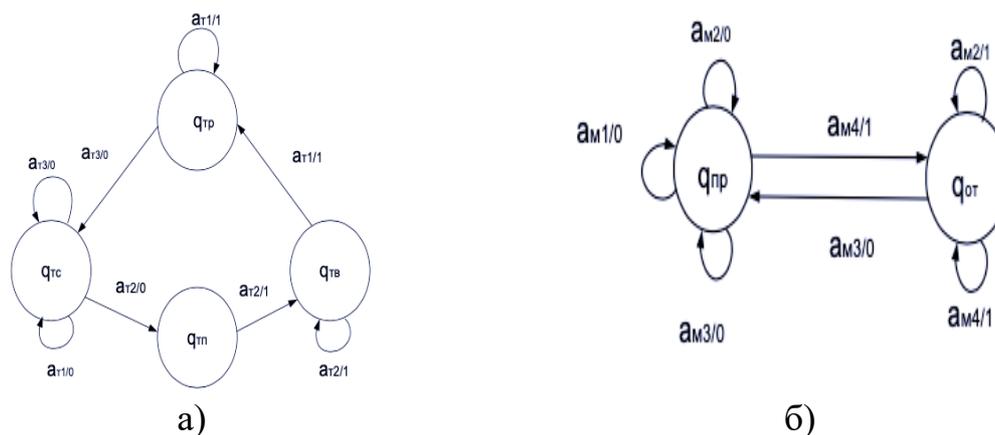


Рисунок 2 – а) граф переходов автомата для теплового расцепителя УЗО;
 б) граф переходов автомата для минимального расцепителя УЗО

В главе 3 «Вероятностные модели оценки работоспособности устройств защитного отключения в автоматизированных системах предотвращения пожаров» предложено описание события 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 (Рисунок 3).

Авария может произойти при различных комбинациях неблагоприятных событий на различных элементах этой системы. В соответствии с кодами, присвоенными каждому элементу на Рисунке 3, возможность осуществления главного события A – «авария», определяется следующей логической формулой:

$$A = (D \cup E) \cap (F \cup G) = [(H \cap I) \cup (K \cup J)] \cap [(M \cap L) \cup G]. \quad (2)$$

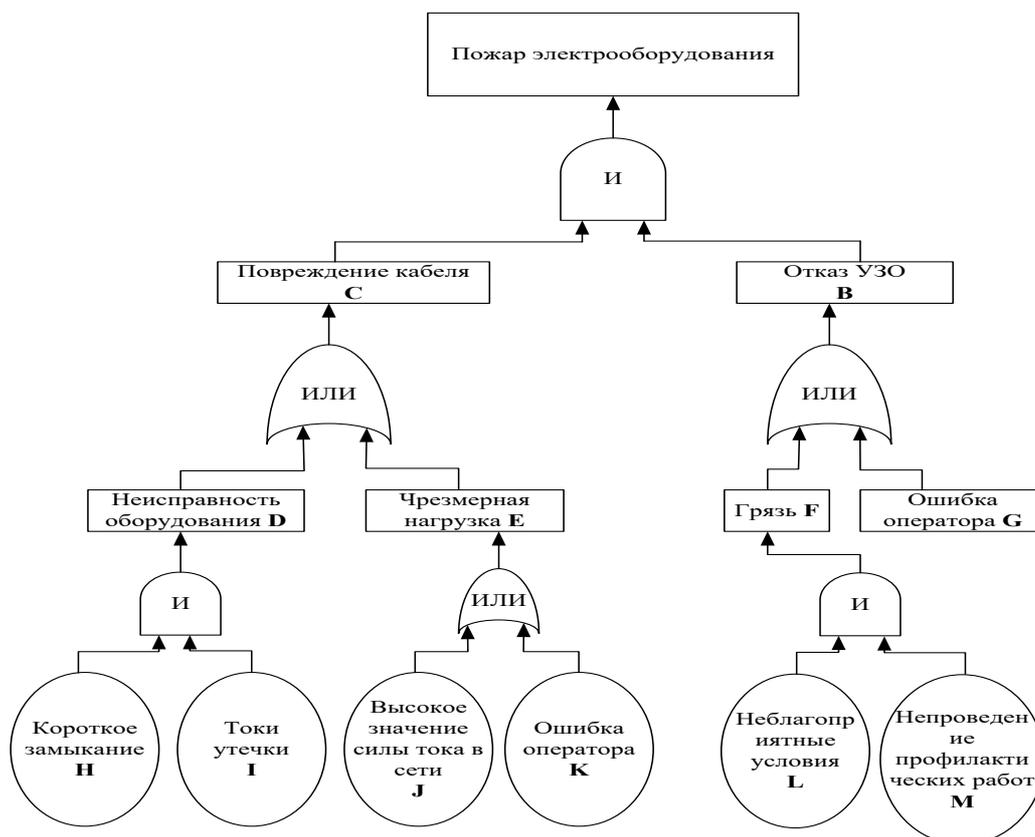


Рисунок 3 – Дерево «ошибок» возникновения аварии на промышленных объектах, вызванных токами утечки

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. Этой таблицей является матрица «вероятность – тяжесть последствий».

Вероятность каждого исхода (каждой цепочки последовательных событий) равна произведению вероятностей этих событий:

$$P_i = \prod_{j=1}^m P_j, \quad (3)$$

причем сумма вероятностей исходов равна единице. Основное дерево событий может быть редуцировано на основе простого применения инженерной логики, что и иллюстрируется редуцированием дерева событий, которые изображены на Рисунке 4.

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.

Предложена редукция дерева событий. Рассмотрена последовательность событий, которые приводят к аварийному событию в

системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта.

Коэффициент неготовности системы $Q_s(t)$ (вероятность того что в момент времени t в системе будет иметь место главное событие; это может быть вероятность отказа системы или вероятность наличия в системе в момент времени t системной аварии определенного вида) определяется как вероятность наличия в момент времени t всех базовых событий:

$$Q_s(t) = \begin{cases} P(B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n); \\ P(B_1) \cdot P(B_2) \cdot \dots \cdot P(B_n). \end{cases} \quad (4)$$

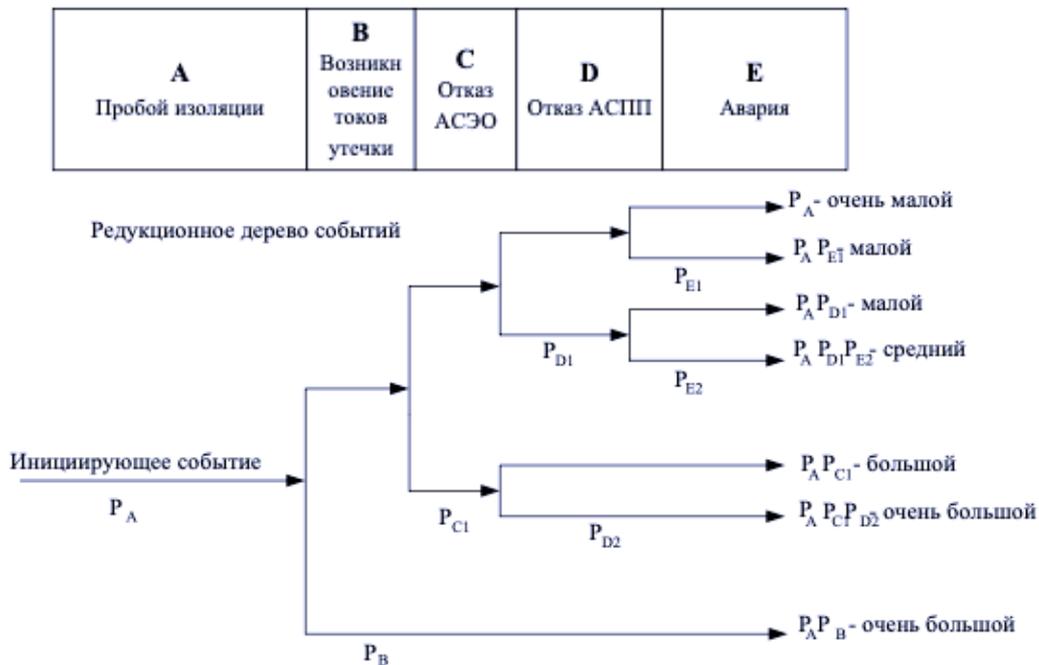


Рисунок 4 –Редукционное дерево событий отказа устройства защитного отключения в автоматизированной системе предотвращения пожара

Для анализа задач безотказности следует иметь в виду, что главное событие возникает в том случае, если есть более чем $m-1$ из n базовых событий. Таким образом, необходимо взять сумму для всех k , чтобы получить $Q_s(t)$ для главного события:

$$Q_s(t) = P(m \leq k \leq n) = \sum_{k=m}^n \binom{n}{k} Q^k \cdot (1 - Q)^{n-k} \quad (5)$$

Рассмотренный подход построения дерева событий отказа устройства защитного отключения позволяет выявить аварийный режим в системе противопожарной защиты электрооборудования промышленного объекта, приводящий к отказу, а также определить коэффициент готовности системы.

В главе 4 «Реализация подсистем автоматизированной системы предотвращения пожаров на промышленных предприятиях при обнаружении токов утечки в электрооборудовании» разработана концепция и структура автоматизированных систем предотвращения пожаров и контроля токов утечки в электрической сети промышленного объекта с использованием вероятностных и теоретико-автоматных моделей

устройств защитного отключения.

Предложена блок-схема анализа аварийных и нештатных ситуаций на промышленном объекте (Рисунок 5).

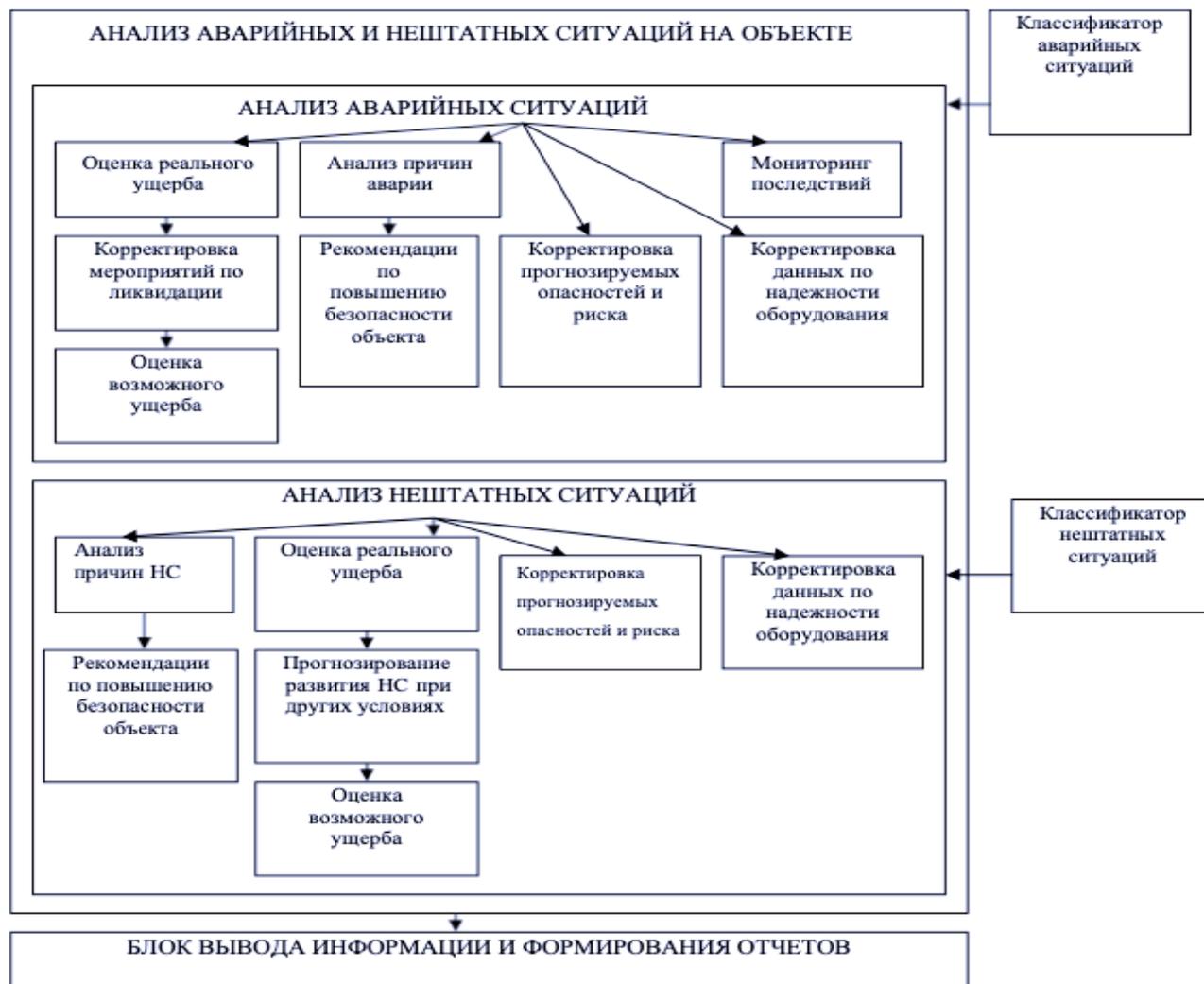


Рисунок 5 – Блок-схема анализа аварийных и нештатных ситуаций на объекте

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 пожарной и промышленной безопасности;
- обоснованных рекомендаций по уменьшению риска пожаров и аварий.

Разработан алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в электрооборудовании (Рисунок 6).

Разработанный 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.

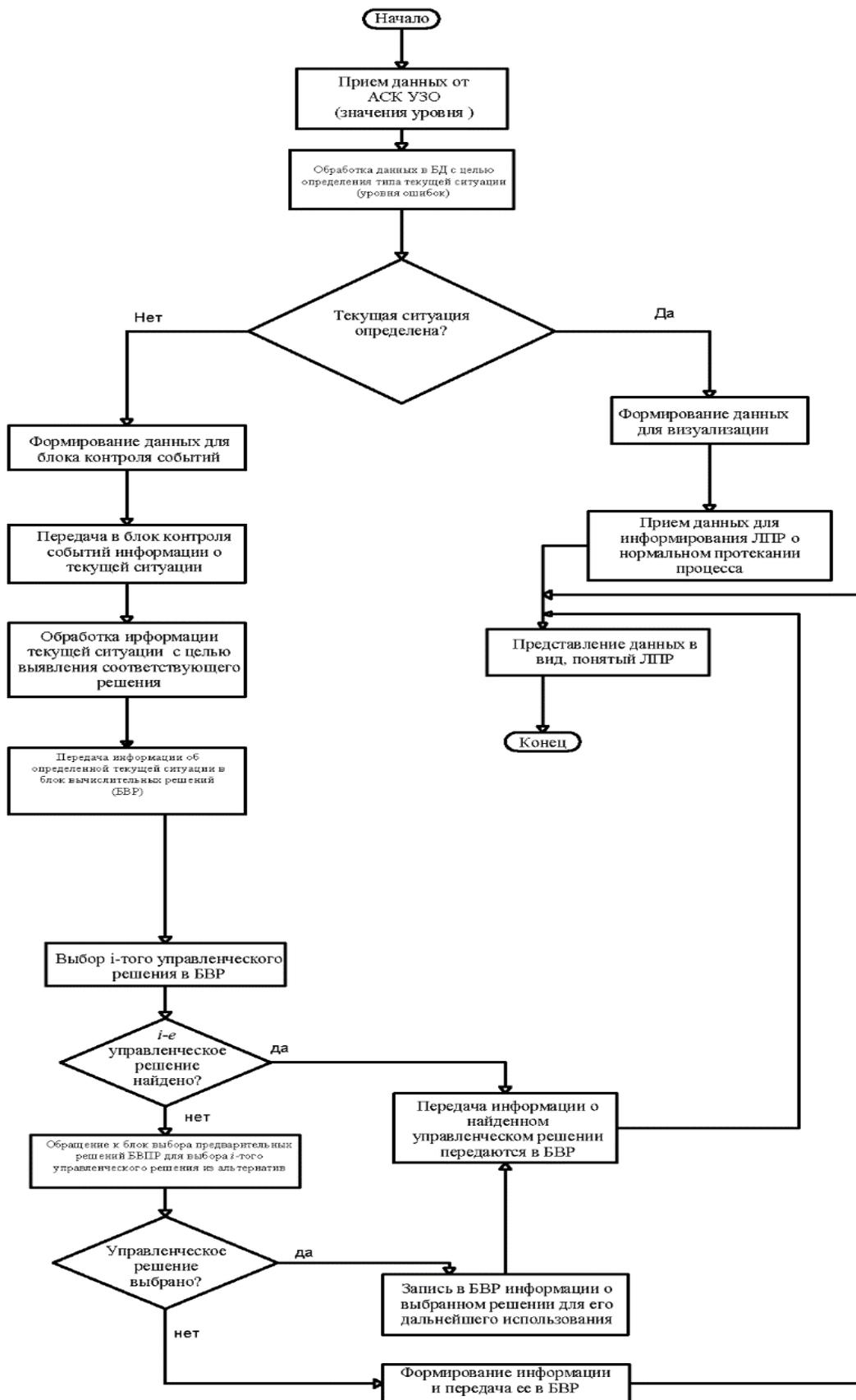


Рисунок 6 – Алгоритм функционирования автоматизированной системы предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в электрооборудовании

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:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right], \quad (6)$$

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

Влияние интенсивного старения электрооборудования 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:

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (7)$$

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

$$P(m, \lambda t) = \frac{\lambda t^m}{m!} \exp(-\lambda t), \quad m = 0, 1, 2, \dots, \lambda t > 0. \quad (8)$$

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

$$Q = 1 - P(0, \lambda t) = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (9)$$

Используемые статистические данные должны соответствовать типу анализируемого производства, электрооборудования объекта, а также применяемым устройствам электрической защиты. Обобщенные среднестатистические данные частот отказов УЗО представлены на Рисунке 7.

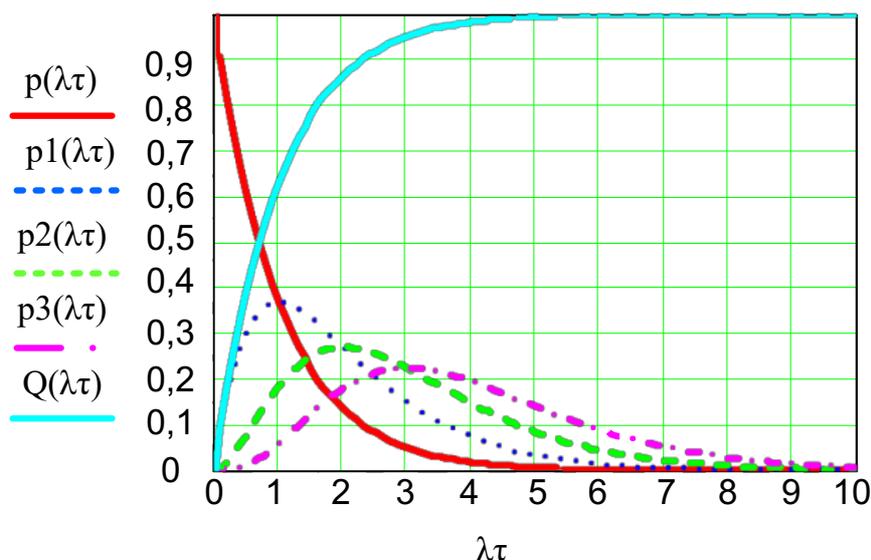


Рисунок 7 – Вероятность аварий $P(m, \lambda t)$ для $m = 0, 1, 2, 3$ и оценка риска Q аварийности в зависимости от частоты отказа УЗО

Предложенный подход позволяет оценить жизненный цикл устройств

защитного отключения электрооборудования в процессе его эксплуатации, а также проанализировать процессы, протекающие в электрической сети предприятия, относящиеся к функциям автоматизированной системы предотвращения пожаров от электрооборудования. Контроль всех аварийных параметров разбит на группы «активация/деактивация» защит и по каждой из групп осуществляется в соответствии с основным циклом прикладной программы программируемого логического контроллера (ПЛК).

В случае если один из контролируемых параметров выходит за допустимые пределы (для аналоговых характеристик) или возникает событие, вызывающее аварийный дискретный сигнал, АСУТП ЭО переводит контролируемое оборудование в безопасное состояние (Рисунок 8).

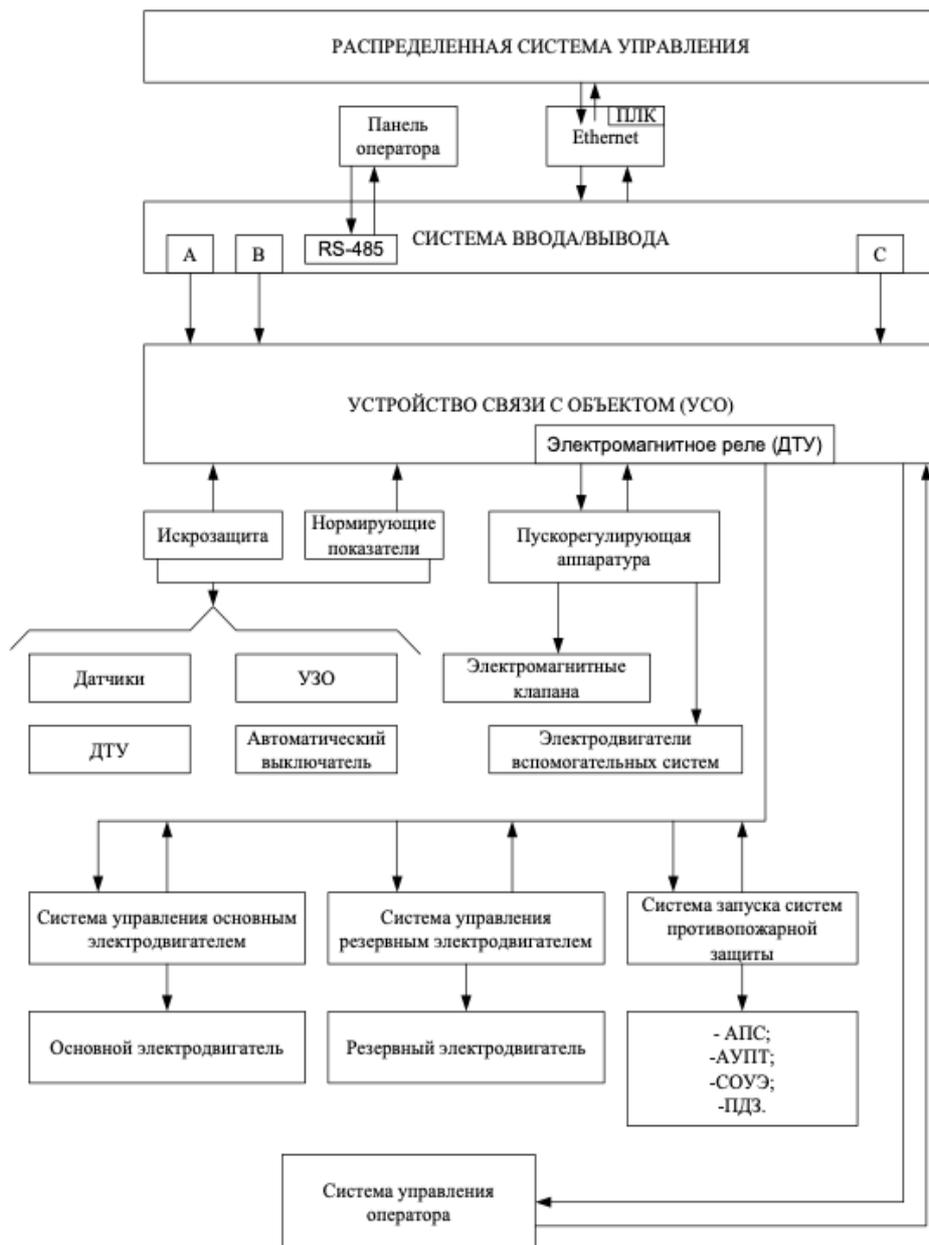


Рисунок 8 – Архитектура АСУТП комплексом оборудования с встроенной автоматизированной системой предотвращения пожаров
 Разработан алгоритм процесса функционирования системы (Рисунок 9).

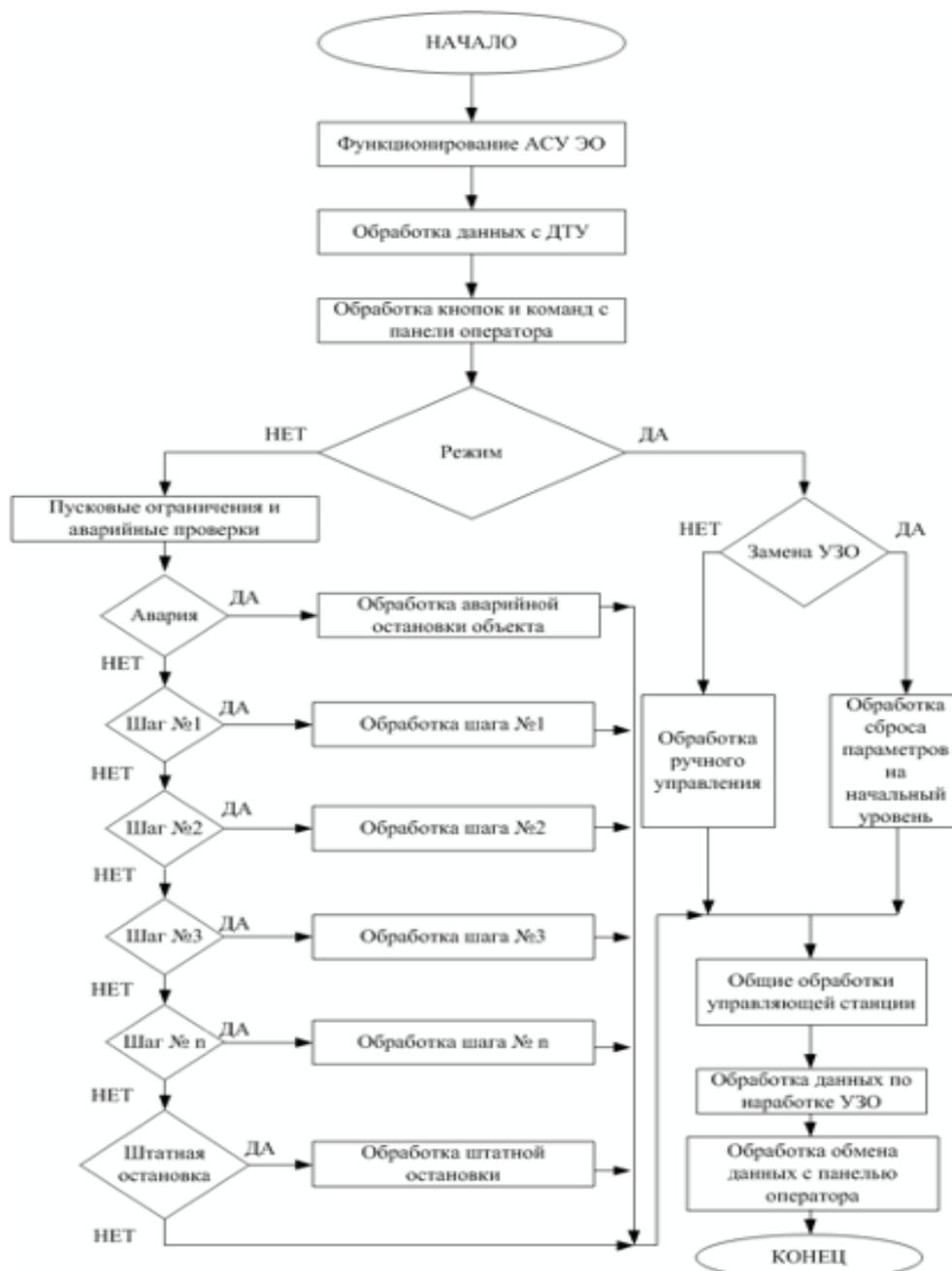


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма работы АСПП в составе АСУТП электрооборудования

Система работает 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 программируемого логического контроллера, при этом производится контроль и анализ показаний с дискретных и аналоговых датчиков станции, на основании которых система управляет исполнительными механизмами.

Разработан алгоритм работы всей системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки в электрооборудовании промышленного объекта (Рисунок 10).

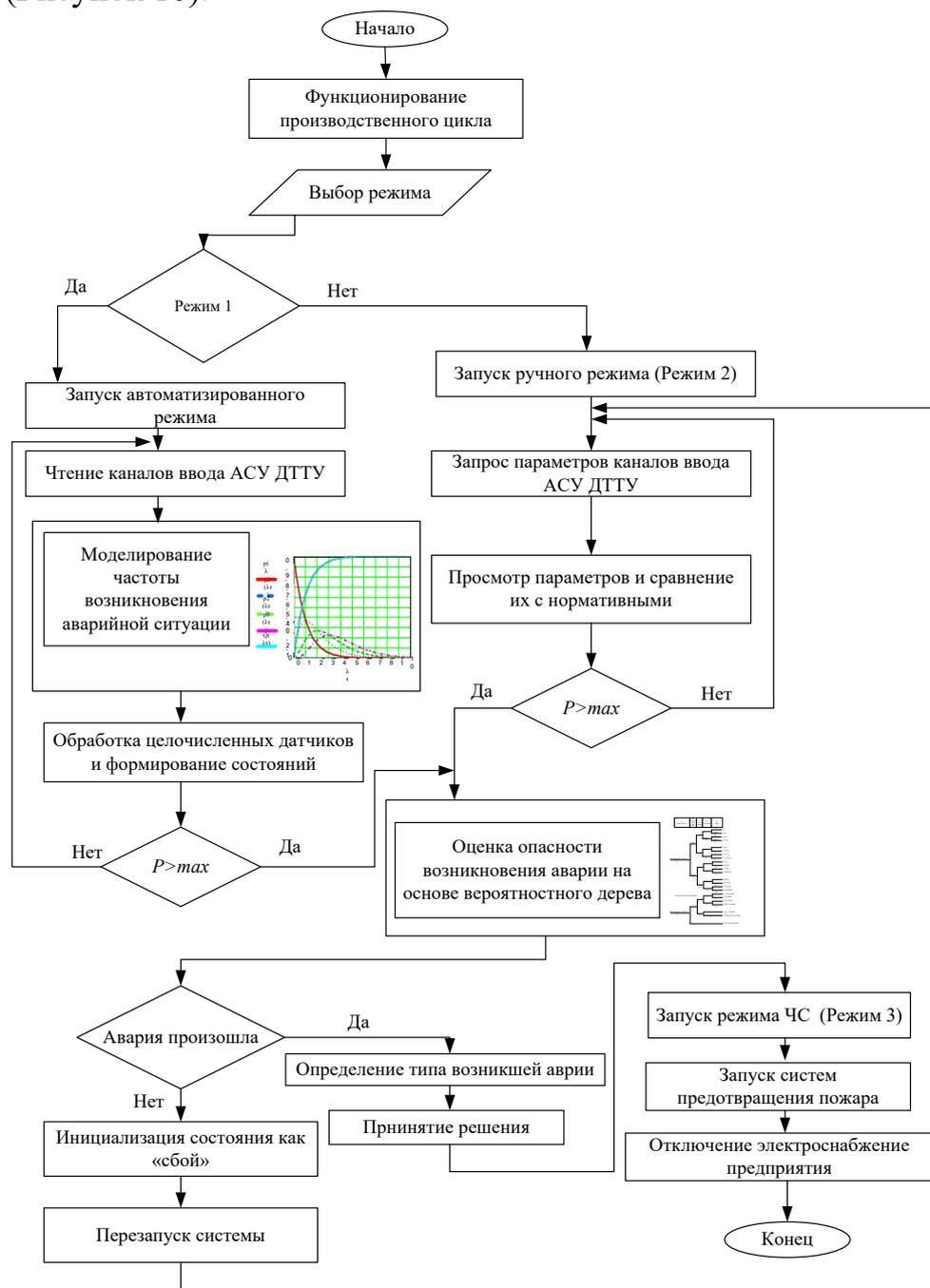


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма работы автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, с использованием вероятностной модели УЗО

Первый обеспечивает следующие основные временные характеристики выполнения функций:

– время представления режимной и сигнальной информации на экранах рабочих мест, а также 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.

Функционирование алгоритма автоматизированной системы предотвращения аварийной ситуации, вызванной токами утечки, на основе теоретико-автоматной модели устройства защитного отключения 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 при помощи дифференциального трансформатора токов утечки. 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 АСУТП 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 осуществляется в двух режимах автоматически. Диспетчер АСУТП 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 проведения профилактических мероприятий, прогнозировать деятельность системы управления пожарной безопасностью промышленных объектов, вырабатывать определенные требования к ее деятельности для поддержания

необходимого показателя эффективности.

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. Общая структура алгоритма показана на Рисунке 11.

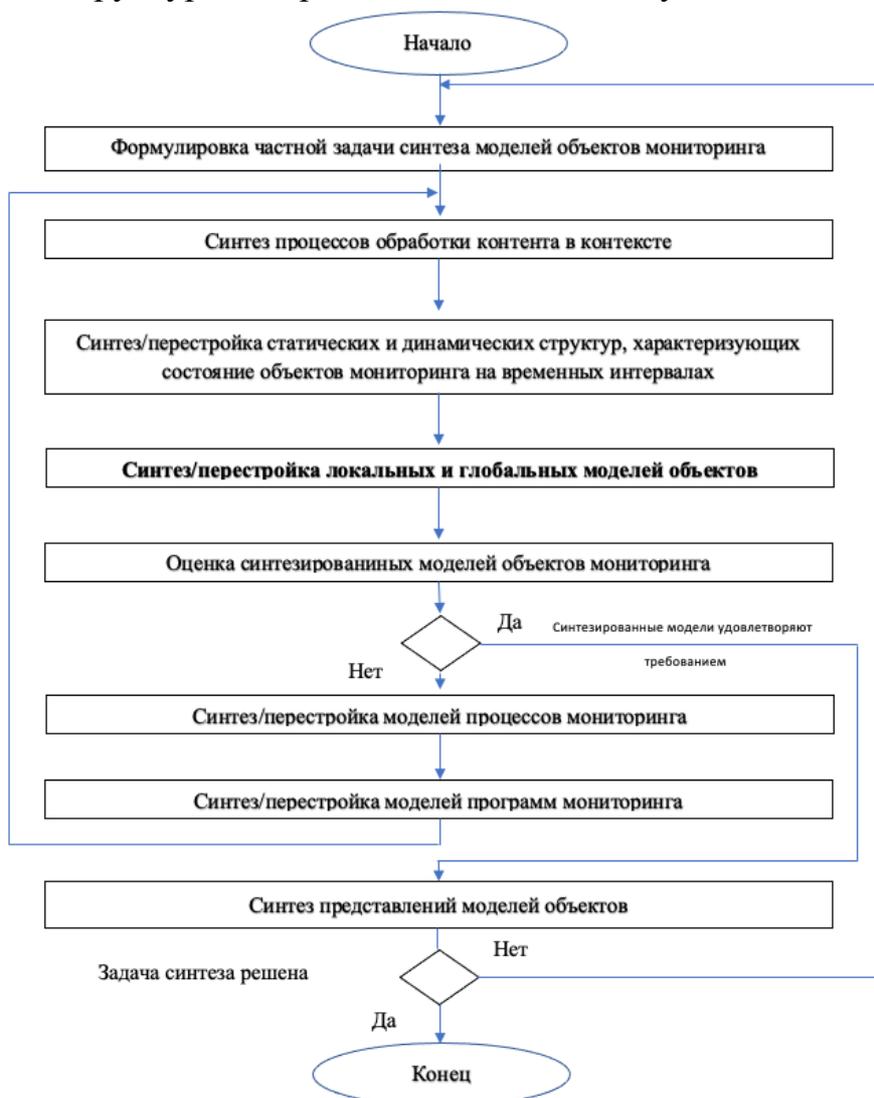


Рисунок 11 – Обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей состояния УЗО

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.

Компьютерная реализация автоматизированной системы предотвращения пожаров при обнаружении токов утечки осуществлена в виде программных продуктов для обнаружения пожара в

автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности объекта (*свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (№2018618979, №2018617802)*).

В приложении приведены акты о внедрении результатов диссертационного исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

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 (УЗО) 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. Построены графы 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.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:
В научных изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Нгуен, Л.З. 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>.

2. Нгуен, Л.З. 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>.

3. Нгуен, Л.З. Вероятностная модель функционирования автоматизированной системы управления электрооборудованием

промышленных предприятий Вьетнама при возникновении аварии / Н.Г. Топольский, Е.А. Мешалкин, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен, Д.С. Береснев // Технологии техносферной безопасности. – 2021 г. – № 3 (93). – 8 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2021-3/18-09-21.ttb.pdf>.

Монография

4. Нгуен, Л.З. Теоретико-автоматные модели функционирования автоматических выключателей в АСУ противопожарной защиты: монография / Л.З. Нгуен, Н.Г. Топольский, Е.Д. Морщинов, Е.Н. Минеев; под общей ред. Н.Г. Топольского. – М: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 120 с.

Свидетельства о Государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Нгуен, Л.З. 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.

6. Нгуен, Л.З. 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.

В других научных изданиях

7. Нгуен, Л.З. Теоретико-автоматная модель устройств защитного отключения электрооборудования / Н.Г. Топольский, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен, С.В. Должиков // Материалы X Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». – Воронеж. – 2019. – С. 425–427.

8. Нгуен, Л.З. Автоматизированная система пожарной безопасности электроустановок на основе защиты от токов утечки / Н.Г. Топольский, Е.Н. Минеев, Л.З. Нгуен, С.И. Ласилкин, М.Р. Фасхутдинов // Материалы VI-ой Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов». – Иваново. – 2019. – С. 368–371.

9. Нгуен, Л.З. Мониторинг пожарной опасности устройств защитного отключения промышленной электросети / Л.З. Нгуен // Материалы 28-я международная научно-техническая конференция «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2019. – С. 253 – 256.

10. Нгуен, Л.З. Автоматизированная система управления технологическим процессом электрооборудования промышленных объектов Вьетнама / Л.З. Нгуен // Материалы 30-й международной

научно-технической конференции «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2021. – С. 9 – 11.

11. Нгуен, Л.З. Автоматизированная система предотвращения пожарных и аварийных ситуаций в электрооборудовании промышленных объектов Вьетнама / Л.З. Нгуей // Материалы 30-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2021. – С. 5 – 8.

Подписано в печать 22.09.2021 г. Формат бумаги 60x90 1/16
Печать офсетная. Печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 269

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.