

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства |

УДК614.8:621.311.41.004

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|------|
| 1E71 | Швецов Даниил Юрьевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОКД | Вторушина А. Н. | К.Х.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ОСГН | Жиронкин С. А. | Д.Э.Н | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ООД | Федорчук Ю. М. | Д.Т.Н | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОКД | Вторушина А. Н. | К.Х.Н. | | |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А.Н. Вторушина
04.02.2021г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------|
| 1E71 | Швецову Даниилу Юрьевичу |

Тема работы:

Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства

Утверждена приказом директора (дата, номер)

22.01.2021, №22-73/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2021 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | Объектом исследования является трансформаторная подстанция ПС «ОЭЗ-2» 110/10кВ, ВЛ-110кВ, расположенная на территории особой экономической зоны в городе Томске, участок №2 в районе Кузовлевского тракта. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | <ol style="list-style-type: none">1. анализ основных причин и факторов реализации ЧС при эксплуатации силовых подстанций с масляными трансформаторами;2. моделирование аварии с воспламенением трансформаторного масла методом дерева отказов; экспертная оценка событий, приводящих к рассматриваемой аварии, и статистическая обработка результатов оценки;3. расчет зон действия поражающих факторов взрыва рассматриваемого объекта; |

| | |
|---|--|
| | 4. разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС, расчет экономической эффективности предлагаемых мероприятий. |
| Перечень графического материала | Презентация |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Жиронкин Сергей Александрович |
| Социальная ответственность | Федорчук Юрий Митрофанович |

| | |
|---|---------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 04.02.2021 г. |
|---|---------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|-----------------|------------------------|---------|---------------|
| Доцент ОКД | Вторушина А. Н. | к.х.н. | | 04.02.2021 г. |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|---------------|
| 1E71 | Швецов Даниил Юрьевич | | 04.02.2021 г. |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 07.06.2021 г. |
|--|---------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 12.03.2021 | Разработка раздела «Обзор литературы», подбор литературы, проведение теоретических обоснований | 20 |
| 01.03.2021 | Разработка раздела «Объект и методы исследования», рассмотрение методов оценки рисков | 10 |
| 22.03.2021 | Раздел «Практическая часть», возможные аварийные ситуации и их расчет | 15 |
| 12.04.2021 | Раздел «Практическая часть», оценка рисков на основе полученных результатов | 15 |
| 03.05.2021 | Раздел «Практическая часть», предложение инженернотехнических мероприятий | 10 |
| 17.05.2021 | Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | 10 |
| 07.06.2021 г. | Оформление и представление ВКР | 20 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|----------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОКД | Вторушина А.Н. | к.х.н. | | 04.02.2021 |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|----------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОКД | Вторушина А.Н. | к.х.н. | | 04.02.2021 |

Планируемые результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

| Код компетенции | Наименование компетенции |
|---|---|
| Универсальные компетенции | |
| УК(У)-1 | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач |
| УК(У)-2 | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений |
| УК(У)-3 | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде |
| УК(У)-4 | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах) |
| УК(У)-5 | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах |
| УК(У)-6 | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни |
| УК(У)-7 | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности |
| УК(У)-8 | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК(У)-1 | Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности |
| ОПК(У)-2 | Способность использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов профессиональной деятельности |
| ОПК(У)-3 | Способность ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения безопасности |
| ОПК(У)-4 | Способность пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и окружающей среды |
| ОПК(У)-5 | Готовность к выполнению профессиональных функций при работе в коллективе |
| ДОПК(У)-1 | Способность ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и окружающей среды от опасностей |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК(У)-9 | Готовность использовать знания по организации охраны труда, охраны окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях на объектах экономики |
| ПК(У)-10 | Способность использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов в чрезвычайных ситуациях |
| ПК(У)-11 | Способность организовать, планировать и реализовать работу исполнителей по решению практических задач обеспечения безопасности человека и окружающей среды |
| ПК(У)-12 | Способность применять действующие нормативные правовые акты для решения задач обеспечения объектов защиты |
| ПК(У)-14 | Способность определять нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и окружающую среду |
| ПК(У)-15 | Способность проводить измерения уровней опасностей в среде обитания, обрабатывать полученные результаты, составлять прогнозы возможного развития ситуации |
| ПК(У)-16 | Способность анализировать механизмы воздействия опасностей на человека, определять характер взаимодействия организма человека с опасностями среды обитания с учетом специфики механизма токсического действия вредных веществ, энергетического воздействия и комбинированного действия вредных факторов |
| ПК(У)-17 | Способность определять опасные, чрезвычайно опасные зоны, зоны приемлемого риска |
| ПК(У)-18 | Готовность осуществлять проверки безопасного состояния объектов различного назначения, участвовать в экспертизах их безопасности, регламентированных действующим законодательством Российской Федерации |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1E71 | Швецову Даниил Юрьевич |

| | | | |
|---------------------|--------------|------------------------------|------------------------------------|
| Школа | ИШНКБ | Отделение школы (НОЦ) | ОКД |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 20.03.01 Техносферная безопасность |

Тема ВКР:

| | |
|--|--|
| Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <p>Исследование проводилось в учебной аудитории №601 18-ого корпуса НИ ТПУ. Работа выполняется на персональном компьютере. Область применения: исследование рисков возникновения ЧС на объектах электросетевого хозяйства.</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности | <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Недостаточная освещенность; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; • Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации. |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности | <p>Наличие промышленных отходов (оргтехника, люминесцентные лампы, бумага, обрезки проводов) и способы их утилизации.</p> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС | <p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное</p> |

| | |
|---|--|
| и мер по ликвидации её последствий. | проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае. |
| 4. Перечень нормативно-технической документации. | Приведен перечень НТД |

| | |
|---|-------------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 27.02.2021 |
|---|-------------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------------------|------------------------|---------|------------|
| Профессор ООД | Федорчук Юрий Митрофанович | д.т.н | | 27.02.2021 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|------------|
| 1E71 | Швецов Даниил Юрьевич | | 27.02.2021 |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1E71 | Швецову Даниилу Юрьевичу |

| | | | |
|---------------------|--------------|------------------------------|------------------------------------|
| Школа | ИШНКБ | Отделение школы (НОЦ) | ОКД |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 20.03.01 Техносферная безопасность |

Тема ВКР:

Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | <i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i> |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | <i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.</i> |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | <i>Точное формулирование проблемы исследования</i> |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | <i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.</i> |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | <i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|---|
| 1. Сегментирование рынка |
| 2. Матрица SWOT |
| 3. График проведения и бюджет НТИ |
| 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 26.02.2021 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Профессор ОСГН | Жиронкин Сергей Александрович | Д.э.н. | | 26.02.2021 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 1E71 | Швецов Даниил Юрьевич | | 26.02.2021 |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 12 рисунков, 36 таблиц, 25 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, силовой трансформатор, оценка риска, взрыв трансформатора, чрезвычайная ситуация.

Объект исследования – силовая трансформаторная подстанция, расположенная на территории особой экономической зоны в городе Томске.

Цель работы – оценка риска чрезвычайной ситуации с воспламенением трансформаторного масла на объекте электросетевого хозяйства.

В процессе исследования производился анализ потенциальных опасностей, приводящих к аварии с воспламенением трансформаторного масла, в том числе к взрыву. На основании анализа была построена модель дерева отказов, которые могут приводить к рассматриваемой ЧС. Модель была оценена экспертным методом, на основании которого была рассчитана вероятность аварии. При взрыве трансформатора были рассчитаны зоны разрушений воздушной ударной волны взрыва, интенсивность теплового излучения.

В результате исследования были предложены мероприятия, направленные на предупреждение возникновения чрезвычайной ситуации и повышение уровня безопасности исследуемого объекта.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ЭСХ – электросетевое хозяйство;

ОЭЗ – особая экономическая зона;

ПС – подстанция силовая;

ВЛ – воздушные линии;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЕЭС – Единая энергетическая система;

ОЭС – объединенная энергетическая система;

РЭС – региональная энергетическая система;

ЭЭС – электроэнергетическая система;

ТП – трансформаторная подстанция;

ЛЭП – линия электропередач;

СИГРЭ – Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения (Conseil International des Grands Réseaux Electriques, CIGRE);

ГОСТ – государственный отраслевой стандарт;

FTA (fault tree analysis) – метод анализа дерева отказов (неисправностей);

ОПУ – общеподстанционный пункт управления;

ЗРУ – закрытое распределительное устройство;

ОРУ – открытое распределительное устройство;

РЗА – релейная защита и автоматика;

АИИС КУЭ – автоматизированная система учета электроэнергии;

КТПБ – комплектная трансформаторная подстанция блочная;

ПО – программное обеспечение;

SD – стандартное отклонение;

SE – стандартная ошибка среднего;

ОШ – «огненный шар»;

ВН – высшее напряжение;

СанПиН – санитарно-эпидемиологические правила и нормы;

ОСТ – отраслевой стандарт;

СП – свод правил;
СНиП – строительные нормы и правила;
НПБ – нормы пожарной безопасности;
СИЗ – средства индивидуальной защиты;
СКЗ – средства коллективной защиты;
ПЭВМ – персональная электро-вычислительная машина;
ВН – высшее напряжение;
ЭЧ – экономическая часть;
СО – социальная ответственность;

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Реферат | 9 |
| Обозначения и сокращения | 10 |
| Оглавление | 12 |
| Введение | 14 |
| 1. Обзор литературы | 16 |
| 1.1 Характеристика энергетических предприятий | 16 |
| 1.2. Методы исследования | 23 |
| 2. Объект исследования | 26 |
| 3. Практическая часть | 29 |
| 3.1. Основные причины и факторы реализации ЧС, аварий | 29 |
| 3.2. Моделирование типовых сценариев развития ЧС | 29 |
| 3.3. Выбор и обоснование метода оценки рисков | 37 |
| 4. Результаты и их обсуждение | 39 |
| 4.1. Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС | 39 |
| 4.2. Расчет вероятных зон действия поражающих факторов | 44 |
| 4.3. Разработка мероприятий по снижению вероятности ЧС | 47 |
| 5. Социальная ответственность | 53 |
| 5.1. Производственная безопасность | 53 |
| 5.1.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов | 53 |
| 5.1.2. Отклонение показателей микроклимата в помещении | 54 |
| 5.1.3. Превышение уровней шума | 55 |
| 5.1.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений | 56 |
| 5.1.5. Отклонение параметров освещенности | 57 |
| 5.1.6. Поражение электрическим током | 58 |
| 5.1.7. Пожарная опасность | 60 |
| 5.2. Экологическая безопасность | 62 |
| 5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 64 |
| 5.4. Перечень НТД | 65 |
| 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 66 |
| 6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 66 |
| 6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования | 66 |
| 6.1.2. Анализ конкурентных технических решений | 67 |
| 6.1.3. SWOT-анализ | 68 |
| 6.2. Планирование научно-исследовательских работ | 72 |
| 6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования | 72 |
| 6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ | 73 |
| 6.2.3. Разработка графика научного исследования | 74 |
| 6.3. Бюджет научно-технического исследования | 78 |

| | |
|--|----|
| 6.3.1. Расчет затрат на специально оборудование для проведения работ | 78 |
| 6.3.2. Основная заработная плата исполнителей работ..... | 78 |
| 6.3.3. Дополнительная заработная плата исполнителей работ | 80 |
| 6.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды | 81 |
| 6.3.5. Накладные расходы | 81 |
| 6.3.6. Формирование бюджета проекта | 82 |
| 6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 82 |
| Заключение | 85 |
| Список литературы | 87 |
| Приложение А | 90 |
| Приложение Б | 92 |

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика – отрасль энергетики, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии. Электроэнергетика является наиболее важной отраслью энергетики, что объясняется такими преимуществами электроэнергии перед энергией других видов, как относительная лёгкость передачи на большие расстояния. Обеспечение бесперебойной работы объектов электросетевого хозяйства – важная техническая задача. Несмотря на развитие технологий, аварийные ситуации на различных производственных объектах продолжают возникать. В данной выпускной квалификационной работе будет произведен анализ аварийных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства, в частности на силовых трансформаторах электрических подстанций. Актуальность исследования заключается в том, что последствия сетевых аварий могут различаться от локальных возгораний электроустановок и кратковременных отключений электричества до глобального обесточивания регионов (т.н. блэкаут) и возникновения очагов пожара и взрыва на объектах электросетевого хозяйства (ЭСХ). Поэтому целесообразно произвести оценку рисков чрезвычайных ситуаций при эксплуатации трансформаторных подстанций.

В данной работе в качестве объекта исследования была выбрана трансформаторная подстанция ПС «ОЭЗ-2» 110/10кВ, ВЛ-110кВ, расположенная на территории особой экономической зоны в городе Томске, участок №2 в районе Кузовлевского тракта.

Целью работы является оценка риска чрезвычайной ситуации с воспламенением трансформаторного масла на объекте электросетевого хозяйства.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. анализ основных причин и факторов реализации ЧС при эксплуатации силовых подстанций с масляными трансформаторами;

2. моделирование аварии с воспламенением трансформаторного масла методом дерева отказов; экспертная оценка событий, приводящих к рассматриваемой аварии, и статистическая обработка результатов оценки;
3. расчет зон действия поражающих факторов взрыва рассматриваемого объекта;
4. разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС, расчет экономической эффективности предлагаемых мероприятий.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Характеристика энергетических предприятий

Назначение объектов электроэнергетической отрасли

На территории Российской Федерации существует огромное количество различных объектов электросетевого хозяйства (ЭСХ) и тепловой сети. Однако все они законодательно и функционально объединены в общую структуру – единую энергетическую систему (ЕЭС).

Единая энергетическая система России – электроэнергетическая система, которая расположена в пределах территории Российской Федерации и централизованное оперативно-диспетчерское управление которой осуществляется системным оператором Единой энергетической системы России [1]. ЕЭС России состоит из региональных энергосистем, которые структурно разделены на 7 объединенных энергосистем (ОЭС): Восточную, Сибирскую, Уральскую, Средне-Волжскую, Южную (Северо-Кавказскую), Северо-Западную и Центральную. Приведем их на рисунке 1.



Рисунок 1 – Географическое подразделение ЕЭС России

Полная структура электроэнергетической системы (ЭЭС) имеет иерархическую форму, в которой Единая энергосистема разветвляется на обозначенные выше ОЭС. Объединенные энергосистемы каждая, в свою очередь, разветвляются на региональные энергетические системы (РЭС). Схематично это можно представить следующим образом (рисунок 2).

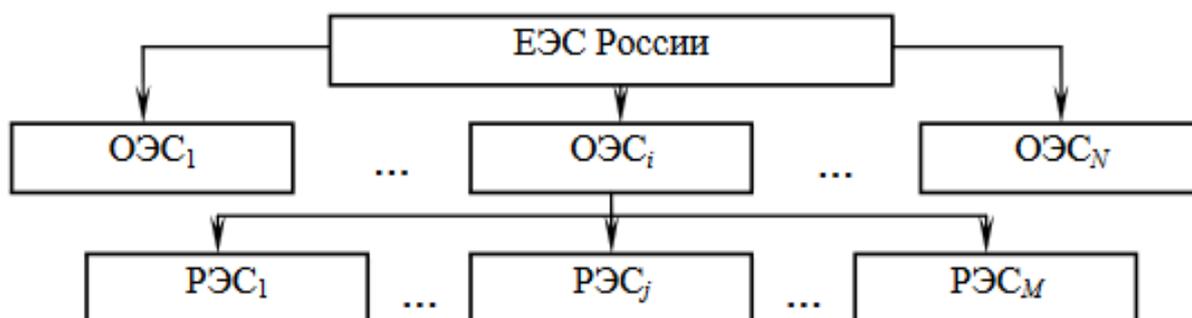


Рисунок 2 – Иерархическая структура ЭЭС России

Энергетическая система – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом [2]. Как было обозначено выше, энергетическая система подразделяется на теплоэнергетическую и электроэнергетическую составляющие.

Далее в данной работе будет рассматриваться исключительно электроэнергетическая система. Электроэнергетическая система (ЭЭС) является подсистемой энергетической системы и представляет собой сложный физико-технический комплекс, состоящий из электрических частей электростанций, электрических сетей и электроприемников, работающих по согласованному режиму при его общем управлении. Электроэнергетическая система – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии [2].

Электроэнергетическая система структурно подразделяется на три ключевых звена: источник электроэнергии (электростанция), система передачи и преобразования электроэнергии (электрическую сеть) и совокупность потребителей электроэнергии (электроприемник). В рамках исследования нас интересует электрическая сеть. Электрическая сеть – совокупность электроустановок, состоящая из подстанций, воздушных и кабельных линий электропередачи, токопроводов, электропроводок, работающих на определенной территории. Как составной элемент электроэнергетической систем (ЭЭС), электрическая сеть обеспечивает прием электроэнергии от электростанций, ее передачу на различные расстояния, преобразование параметров электроэнергии на подстанциях и распределение электроэнергии по определенной территории, вплоть до непосредственных потребителей [3].

Одним из основных объектов электрических сетей наряду с линиями электропередач являются электроподстанции. Электрическая подстанция – электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электрической энергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств [4].

Функционально различают преобразовательные и трансформаторные подстанции. Преобразовательные подстанции предназначены для изменения рода и/или частоты тока. На трансформаторных подстанциях (ТП) происходит преобразование (понижение либо повышение) величины напряжения в сети без влияния на род и частоту тока с помощью трансформаторов.

Трансформаторная подстанция состоит из следующих элементов: силовые трансформаторы, распределительное устройство, вводные конструкции ЛЭП (воздушные или кабельные), система релейной автоматической защиты. Основной электроустановкой ТП является трансформатор – статический электромагнитный аппарат, преобразующий напряжение и ток первичной обмотки в напряжения и токи вторичных обмоток при неизменной частоте питающего напряжения [5].

Основной электроустановкой ТП является трансформатор – статический электромагнитный аппарат, преобразующий напряжение и ток первичной обмотки в напряжения и токи вторичных обмоток при неизменной частоте питающего напряжения [6]. Трансформатор состоит из двух основных компонентов: магнитопровода (сердечника) и минимум двух обмоток.

Трансформаторы классифицируются по числу фаз (одно- и трехфазные), по соотношению напряжений обмоток (повышающие и понижающие), по конструкции (сухие и масляные) и по назначению.

В данной работе объектом исследования выбраны подстанции с масляными трансформаторами. Приведем устройство данного типа трансформаторов на рисунке 3.

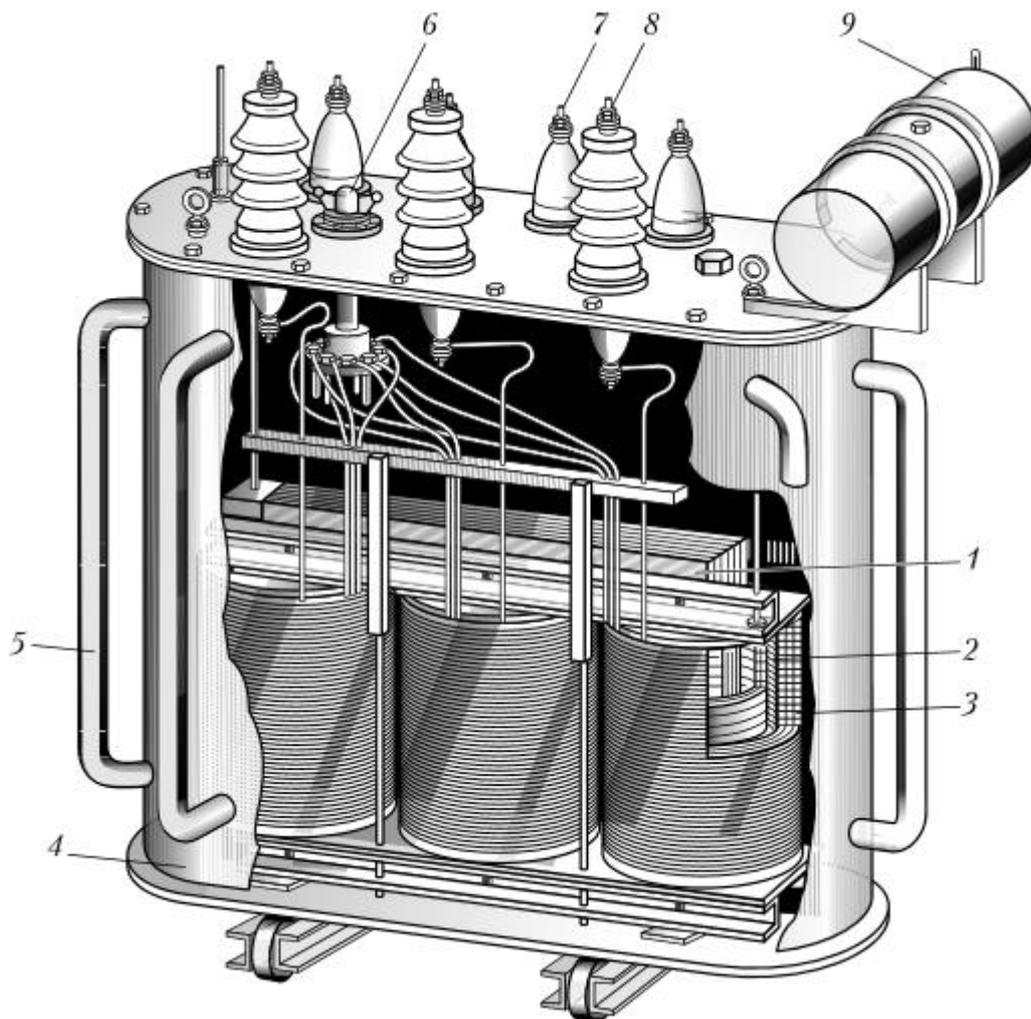


Рисунок 3 – Устройство трансформатора с масляным типом охлаждения

В трансформаторах с масляным охлаждением магнитопровод с обмотками помещен в бак, наполненный трансформаторным маслом (рисунок 3). Трансформаторное масло, омывая обмотки 2 и 3 и магнитопровод 1, отбирает от них теплоту и, обладая более высокой теплопроводностью, чем воздух, через стенки бака 4 и трубы радиатора 5 отдает ее в окружающую среду. Наличие трансформаторного масла обеспечивает более надежную работу высоковольтных трансформаторов, так как электрическая прочность масла намного выше, чем воздуха. Масляное охлаждение интенсивнее воздушного, поэтому габариты и масса масляных трансформаторов меньше, чем у сухих воздушных трансформаторов. С внешней цепью обмотки трансформатора соединены вводами 7 и 8. На крышке бака установлена рукоятка переключателя напряжения 6 [7].

Статистика отказов и аварий силовых трансформаторов

В текущей главе произведен анализ аварий силовых трансформаторов различных классов напряжений в зависимости от места отказа. Введем некоторые новые составные элементы трансформаторов. Под втулками понимаются фиксирующие втулки (шайбы) вводов напряжения с внутренней стороны бака. Сам ввод представляет собой клемму с болтовыми контактами и диэлектрической изоляционной крышкой снаружи бака. Изоляцией в рассматриваемых далее вариантах является маслбарьерная оболочка магнитопровода и катушек.

Следующие статистические данные (выборка 1) в приведены по 797 трансформаторам с рабочим напряжением от 70 кВ и выше со ссылками на источники Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения – СИГРЭ (Conseil International des Grands Réseaux Electriques – CIGRE). По данным другой выборки (выборка 2) из 200 трансформаторов с рабочими напряжениями от 100 до 500 кВ имеется иная статистика. Сведем данные двух исследований в таблицу 1.

Таблица 1 – Места отказа трансформаторов по данным РНК СИГРЭ [8,9]

| Место отказа | Доля отказов данного элемента по выборке 1 (%) | Доля отказов данного элемента по выборке 2 (%) |
|---|--|--|
| Обмотки | 47,4 | 33,0 |
| Вводы | 6,3 | 9,5 |
| Изоляция | 2,4 | 1,5 |
| Втулки | 14,4 | 17,5 |
| Магнитный сердечники шунты | 4,2 | 4,0 |
| Бак | 0,5 | 1,0 |
| Система охлаждения | 1,0 | 1,0 |
| Переключающее устройство | 23,2 | 30,0 |
| Прочие неисправности и отказы неизвестной локации | 0,6 | 2,5 |

Анализ данных двух исследований по отказам трансформаторов выявило, что элементами с наибольшей долей отказов являются обмотки трансформатора и вводы напряжения, суммарно два вида этих отказов составляют 60-70% от общего числа. Переключающие устройства, втулки и элементы магнитопровода имеют существенные вероятности выхода из строя. Остальные элементы вносят менее 5% во вклад по отказам силовых трансформаторов.

Последствиями отказов объектов электросетевого хозяйства и, в частности, силовых трансформаторов, являются переход части энергосистемы в аварийный режим и ущерб от разрушения объекта и его элементов. Задачи по нормализации аварийного режима энергосистемы в рамках текущей работы рассмотрению не подлежат, т.к. относятся к сфере интересов специалистов по электроэнергетике. Повреждение элементов оборудования трансформатора может сопровождаться не только непосредственным его отказом, но и приводить к сопутствующим ЧС. К наиболее вероятным видам ЧС относятся пожары и взрывы объектов ЭСХ. Реализация аварий с воспламенением трансформаторного масла помимо непосредственного ущерба самой

подстанции может повлечь за собой ущерб для соседних промышленных, административных и жилых зданий и сооружений. Таким образом, аварии с воспламенением трансформаторного масла (пожары или взрывы) приводят к наибольшему возможному ущербу.

Из перечня приведенных ранее причин отказов следует выявить только те, которые способны стать причиной возгорания трансформатора. Для этих целей необходимо выявить основные причины пожаров на электроустановках в целом. В литературе можно встретить следующие статистические данные о причинах возникновения пожаров в электроустановках:

1. 43,3% общего числа пожаров в электроустановках возникает от коротких замыканий,
2. 33,5% – от перегрева горючих материалов и предметов, находящихся вблизи от посторонних источников тепла (например, электронагревательных приборов),
3. 12% – от перегрузки проводов, кабелей, обмоток электромашин и аппаратов,
4. 3,5% – от искрения и электрической дуги,
5. 3% – от нагрева строительных конструкций при выносе (переходе) из них электрических кабелей [10].

Среди пяти выявленных причин пожаров на электроустановках для трансформаторных подстанций не характерен только пункт 2 по причине того, что силовые трансформаторы по нормам располагают удаленно от иных объектов в изолированном помещении. В связи с этим замечанием основной причиной возгораний трансформаторов следует считать различного рода короткие замыкания: межвитковые замыкания обмоток, замыкания обмоток на корпус, замыкания контактных элементов вводов кабельных и воздушных линий.

При рассмотрении масляных трансформаторов немаловажным фактором пожарной опасности следует считать возгорание самого масла. Для всех марок применяемого трансформаторного масла согласно ГОСТ 982-80 температура

вспышки, определяемая в закрытом тигле, составляет не менее 135 °С [11]. Однако при аварийных режимах работы масло может нагреваться выше нормативных температур.

1.2. Методы исследования

Существует широкий спектр технологий оценки риска для различных задач, перечень которых приведен в ГОСТ Р 58771–2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска».

Применительно к данной работе будет использован метод анализа дерева отказов (анализа дерева неисправностей). Выбор данного метода обусловлен тем, что он удобен для подробного анализа причин головного события, графического отображения взаимосвязей между событиями, приводящими к головному событию, и статистической обработки полученных результатов.

Анализ дерева отказов (FTA, fault tree analysis) – это метод определения и анализа факторов, которые способствуют наступлению некоторого нежелательного события (называемого «верхним событием»). При анализе верхнего события, в первую очередь, анализируются его прямые и необходимые причины. В данном методе выявляется логическая взаимосвязь между причинами и событиями, что реализуется посредством применения логических операторов. Метод используется на уровне качественного анализа для определения потенциальных причин и путей развития к верхнему событию или на уровне количественного анализа для оценки вычисления вероятности или частоты верхнего события [12].

Применительно к анализу аварий на объектах электросетевого хозяйства верхним событием является непосредственный отказ, авария или пожар в рассматриваемой системе. Для проведения качественного анализа необходимо охватывать принципы работы системы и причины возникающих сбоев, которые влекут к верхнему событию. В случае проведения вероятностной оценки

наступления отказа необходимы также статистические данные вероятностей совершения того или иного события.

Приведем теоретические основы метода анализа дерева отказов. Ключевым определением данного метода является отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ является верхним (главным) событием дерева, для которого выявляются причины отказов – явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа объекта [13]. Дерево причин имеет иерархическую структуру и подразделяется на события.

Существует три типа событий: базовые, промежуточные и неразвивающиеся. Базовые события являются конечными элементами ветвей дерева, они не имеют условий выполнения и не разбиваются при анализе. Промежуточные события представляют собой переходные элементы от базовых и неразвивающихся событий к отказу. Неразвивающиеся события – события, которые являются вероятными причинами отказа, но не рассматриваются в качестве причин отказа ввиду недостатка или отсутствия информации о причинах их возникновения.

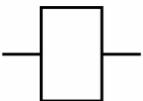
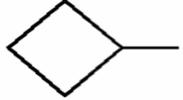
События дерева отказов связаны посредством различных условий их выполнения, строящихся на основании булевой алгебры. Условие – логическая связь между входными событиями (более низкого уровня) и выходными событиями (результатами более высокого уровня). Применяются логические операторы «И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ», «НЕ».

Структурируем условные обозначения элементов дерева отказов (таблица 2).

Таблица 2 – Список условных обозначений дерева отказов [14]

| Символ элемента | Элемент | Описание |
|---|---------------------------|--|
|  | Условие «И» | Событие происходит, если все входные события выполняются одновременно |
|  | Условие «ИЛИ» | Событие происходит, если выполняется одно или несколько из входных событий |
|  | Условие «Исключающее ИЛИ» | Событие происходит, если выполняется только одно из входных событий |

Продолжение таблицы 2

| | | |
|---|-------------------------|---|
|  | Условие «НЕ» | Событие происходит, если входное событие не выполняется |
|  | Промежуточное событие | – |
|  | Базовое событие | Событие, которое не может быть подразделено на составляющие события |
|  | Неразвивающееся событие | Событие, дальнейшая разработка которого не была произведена. |

Метод анализ дерева отказов применяется для решения двух задач:

1. выявление перечня потенциальных сценариев и последовательностей событий, при которых может реализоваться неблагоприятное верхнее событие;
2. количественная оценка вероятности реализации отказа посредством вычисления данного параметра из вероятностей базовых событий с учетом логических связей между ними.

Рассмотрим принципы расчета вероятности отказа. При решении данной задачи должны быть известны вероятности всех базовых событий. Далее через вероятности базовых событий вычисляются вероятности промежуточных, для которых они являются входами. Математические действия с вероятностями для каждого выхода зависят от логического оператора. Чаще всего события являются совместными, т.е. выполнение одного из сценариев не исключает одновременного появления других. Вычисления вероятностей ведутся от входных событий к выходным с учетом иерархической структуры дерева отказов (снизу вверх). Итоговым результатом является вычисление вероятности верхнего события.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования работы является трансформаторная подстанция ПС «ОЭЗ-2» 110/10кВ, ВЛ-110кВ (далее по тексту ПС «ОЭЗ-2»), расположенная на территории особой экономической зоны в городе Томске, участок №2 в районе Кузовлевского тракта.

В состав ПС «ОЭЗ-2» входят различные здания и сооружения, обеспечивающие работоспособность объекта. Ниже приводится перечень зданий (сооружений) на объекте (таблица 3) и план их размещения (рисунок 4).

Таблица 3 – Перечень зданий (сооружений) ПС «ОЭЗ-2»

| № объекта на плане | Обозначение | Пояснение |
|--------------------|--|---|
| 1 | ОПУ (модульное здание) | Общеподстанционный пункт управления |
| 2 | ЗРУ-10 кВ (модульное здание) | Закрытое распределительное устройство на 10 кВ |
| 3 | ОРУ-110 кВ | Открытое распределительное устройство на 110 кВ |
| 4 | Трансформаторы (2 шт, 4/1 и 4/2) | – |
| 5 | Маслосборник ($V=50 \text{ м}^3$) | – |
| 6 | Радиомачта | – |
| 7 | Прожекторная мачта с молниеотводом | – |
| 8 | Трансформаторы собственных нужд (2 шт) | – |

Общеподстанционный пункт управления (1) предназначен для управления технологическими процессами подстанции. В ОПУ размещены панели средств релейной защиты и автоматики (РЗиА), панели средств связи, автоматизированная система учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Также предусмотрены вспомогательные помещения для диспетчера подстанции и дежурной релейной бригады.

Открытые (3) и закрытые (2) распределительные устройства предназначены для распределения электроэнергии различных классов

напряжений. Трансформаторы (4) предназначены для преобразования (понижения) напряжения в 110 кВ, подаваемые с ОРУ, до 10 кВ, которые подаются на ЗРУ, с которых нагрузка распределяется по потребителям на объекте.

Под трансформаторами предусмотрены маслоприемники, из которых масло стекается в маслосборник (5), что обеспечивает защиту от проливов данной горючей жидкости. Также на объекте предусмотрен молниеотвод (7).

На объекте эксплуатируется комплектная трансформаторная подстанция блочного типа КТПБ 110-5Н/10-10-2х25000 с двумя трансформаторами силовыми ТРДН-25000/110-УХЛ1 – с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) и системой охлаждения вида «Д» (естественная циркуляция масла и принудительная циркуляция воздуха). Масса масла одного трансформатора – 12800 кг.

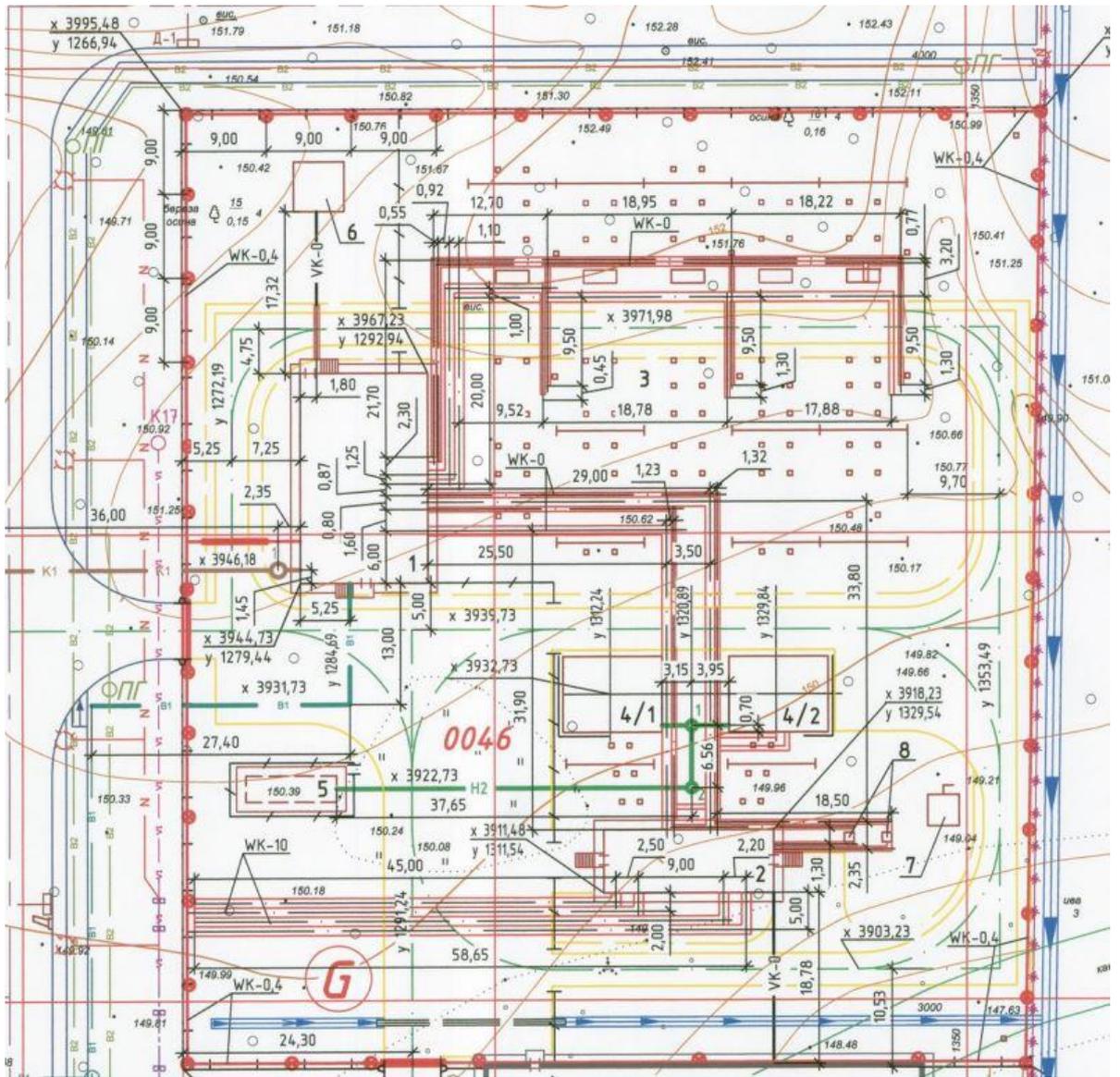


Рисунок 4 – План размещения объектов ПС «ОЭЗ-2»

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Основные причины и факторы реализации ЧС, аварий

К перечню основных причин аварий на трансформаторных подстанциях относят:

1. ошибки оперативно-дежурного персонала (нарушения оперативной дисциплины, пренебрежительное отношение к требованиям правил технической эксплуатации, недостаточное знание инструкций, невнимательность);
2. некачественный монтаж, ремонт и обслуживание электроустановок (плохая регулировка приводов коммутационных аппаратов, плохо протянутые контакты, неправильно настроенная система релейной защиты и автоматики, заводские дефекты электрооборудования);
3. неисправности системы релейной защиты и автоматики (неисправности электрических и механических частей реле, нарушения контактных соединений, обрывы жил контрольных кабелей, цепей управления);
4. короткие замыкания (перенапряжения при коротких замыканиях приводят к пробое изоляции и образованию электрической дуги),
5. грозовые и коммутационные перенапряжения в электрических сетях (повреждение оборудования в результате повышения напряжения по аналогии с короткими замыканиями).

3.2. Моделирование типовых сценариев развития ЧС

Воспламенение трансформаторного масла может сопровождаться пожаром и взрывом на объекте электросетевого хозяйства. Для реализации рассматриваемой аварийной ситуации необходимо, чтобы выполнялись три условия горения: наличие горючего вещества, поступление окислителя в зону химических реакций и наличие источника зажигания [15]. Кроме того, для горючего вещества, трансформаторного масла, необходимым условием горения

является достижение температуры воспламенения. Температура воспламенения - наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение [16]. Данный параметр масел трансформаторных не должен превышать температуру вспышки в 135 °С [11], приблизительно равен 140 °С.

Условием реализации головного события (А) – аварии с воспламенением трансформатора – является одновременное (логическое «И») выполнение двух условий: образование источника зажигания (Б) и нагрев масла выше температуры воспламенения (В). Приведем эту часть дерева на рисунке 5.

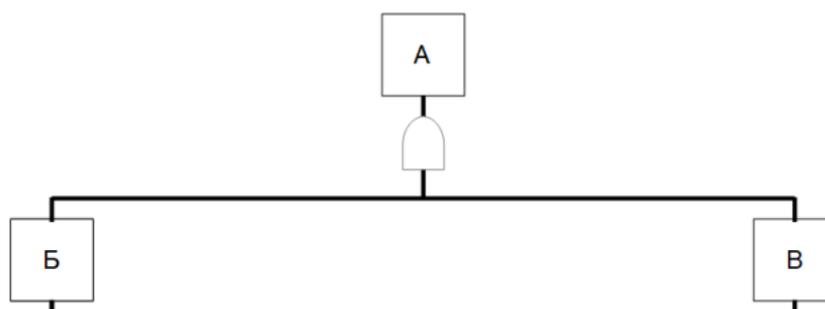


Рисунок 5 – Дерево аварий с возгоранием масла (головное событие)

Далее перейдем к рассмотрению поддеревьев Б и В по отдельности.

Для анализа условий образования источника зажигания введем ряд условных обозначений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Условные обозначения поддерева образования источника зажигания

| Обозначение отказа | Описание отказа |
|--------------------|---|
| Б | Образование источника зажигания |
| Б1 | Поджог (не анализируемое событие) |
| Б2 | Образование дуги напряжения при коротких замыканиях или пробоях |
| Б3 | Горение контактов вводов напряжений |
| Б21 | Короткое замыкание или пробой |
| Б22 | Несрабатывание релейной защиты от коротких замыканий |
| Б211 | Старение и износ изоляции обмоток |
| Б2111 | Старение и износ продольной (межвитковой) изоляции |
| Б2112 | Старение и износ главной (слоевой) изоляции |

Продолжение таблицы 4

| | |
|----------|--|
| Б21121 | Нарушение целостности слоев изоляции (старение бумажных прокладок) |
| Б21122 | Снижение изоляционных свойств масла |
| Б211221 | Попадание влаги в масло |
| Б2112211 | Заливание осадков внутрь бака через негерметичности крышки |
| Б2112212 | Попадание влаги с воздухом ввиду старения адсорбента |
| Б211222 | Электрическое старение масла (образование гари) |
| Б211223 | Некачественная очистка масла или замена масла на несоответствующее характеристикам |
| Б212 | Старение и износ изоляторов вводов напряжений и контактов переключателя напряжений |
| Б213 | Грозное перенапряжение |
| Б2131 | Несрабатывание молниеотвода |
| Б21311 | Некачественный электромонтаж токоотводов и заземлителей |
| Б21312 | Обрыв молниеприемника и токоотводов при штормовых явлениях |
| Б2132 | Грозовой удар молнии |
| Б31 | Искрение и тление вводов напряжений |
| Б311 | Отгорание контактов вводов напряжений в аварийных режимах работы |
| Б312 | Искрение по причине некачественного монтажа контактов вводов |
| Б32 | Несрабатывание газовой защиты (газовое реле) |

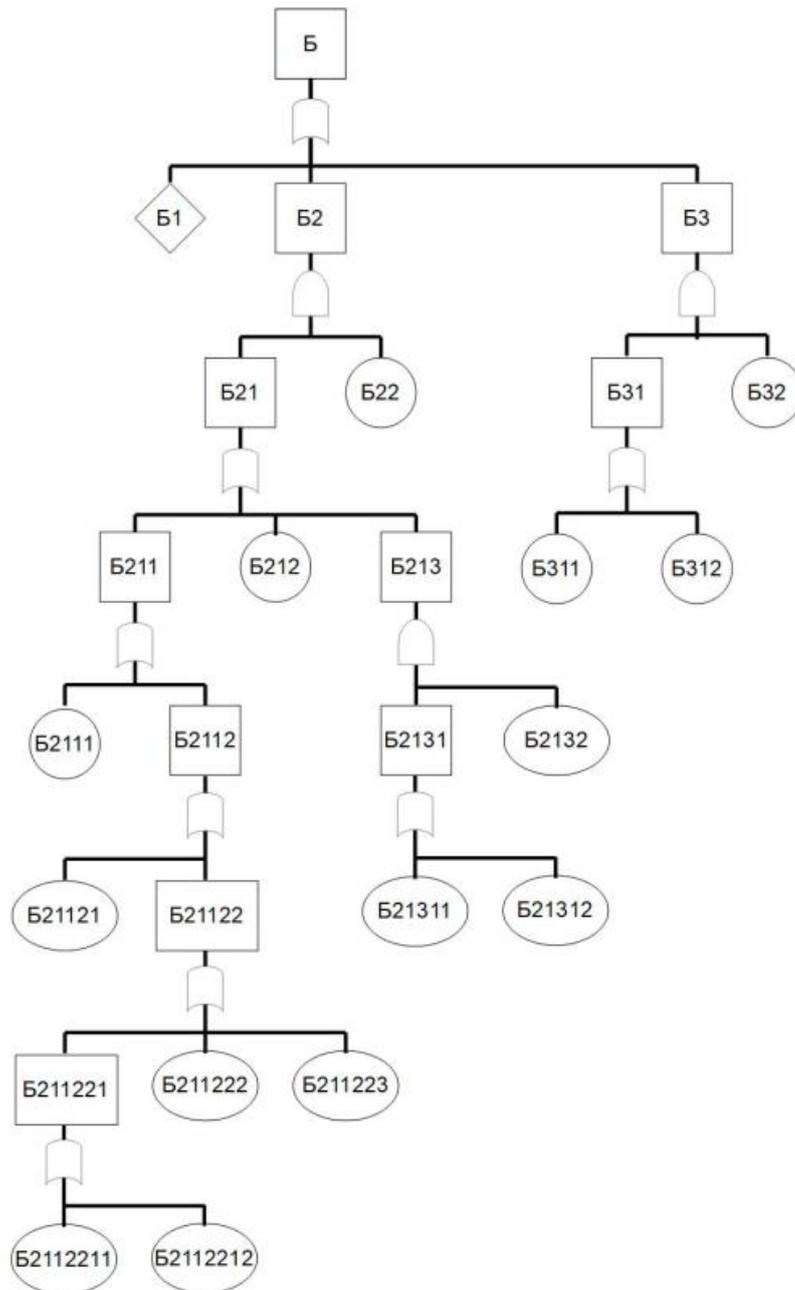


Рисунок 6 – Поддерево образования источника зажигания

Образование источника зажигания (Б) возможно при поджоге (Б1, не анализируемое событие), формировании дуги напряжения короткого замыкания и пробоя (Б2) или горении контактов вводов напряжений (Б3).

Дуга напряжения возможна при реализации короткого замыкания (Б21) и одновременном несрабатывании системы релейной защиты от коротких замыканий (Б22). Событие Б22 не подвергается дальнейшему подразделению в дереве ввиду сложности устройства средств РЗА. Причинами коротких

замыканий могут являться старение и износ изоляции обмоток (Б211), изоляторов напряжений и контактов переключателя напряжений (Б212) или грозовые перенапряжения (Б213). Изоляторы напряжения выполняются из диэлектрических материалов (фарфор, стекло, полимеры) и служат для крепления соединений токоведущих частей и защиты от пробоя контактов. Регуляторы напряжения служат для переключения числа витков катушек трансформатора. Контакты в обоих случаях подвергаются электрическому и атмосферному (влияние влаги, окисление, перепады температур) старению. Изоляция обмоток подразделяется на межвитковую (лаковое или бумажное покрытие витков) и слоевую (главную, слой бумаги поверх катушки с масляными каналами). Данные виды изоляции подвергаются старению и износу (события Б2111 и Б2112 соответственно). Для главной изоляции характерны два типа отказов: нарушение целостности слоев изоляции (Б21121) или снижение изоляционных свойств масла (Б21122). Снижение изоляционных свойств масла обуславливается тремя факторами: увлажнение масла (Б211221), электрическое старение масла (Б211222) или некачественная замена или очистка масла при техобслуживании подстанции (Б211223). Электрическое старение масла связано с образованием проводящих фракций под влиянием электрического поля и при пробоях. Попадание влаги в масло возможно по причинам заливания осадков через негерметичные элементы крышки бака трансформатора (Б2112211) или попадание влаги с воздухом ввиду старения адсорбента (Б2112212).

Горение контактных элементов токоведущих частей (Б3) возможно при несрабатывании газовой защиты (Б32) и искрении и тлении вводов (Б31). Газовая защита осуществляется работой газового реле, которое срабатывает при интенсивном газообразовании в баке (горение масла) или при изменении уровня масла за счет замыкания контактов поплавков реле. Искрение и тление вводов напряжения является следствием некачественного монтажа контактов вводов (Б312) или по причине отгорания контактов вводов в аварийных режимах работы трансформатора (Б311).

Для анализа условий нагрева масла до температуры воспламенения введем ряд условных обозначений, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 – Условные обозначения поддерева нагрева масла до температуры воспламенения

| Обозначение отказа | Описание отказа |
|--------------------|--|
| V | Нагрев масла до температуры воспламенения |
| V1 | Появление источника нагрева |
| V2 | Несрабатывание системы температурного контроля (тепловое реле) |
| V11 | Нагрев обмоток от перенапряжения |
| V12 | Вихретоковый нагрев магнитопровода |
| V13 | Нагрев от отказа системы охлаждения |
| V14 | Нагрев от источника зажигания |
| V111 | Перенапряжение токоведущих частей |
| V1111 | Перекрытие между вводами или контактами переключателя напряжений |
| V1112 | Коммутационное перенапряжение |
| V11111 | Наброс посторонних токопроводящих предметов на вводы |
| V11112 | Дефекты переключателя напряжений |
| V112 | Несрабатывание релейной защиты от перенапряжений |
| V121 | Старение межлистовой изоляции |
| V122 | Повреждение стяжных элементов магнитопровода |
| V123 | Обрыв заземления магнитопровода |
| V124 | Замыкания магнитного контура посторонними предметами |
| V131 | Отказ системы воздушного охлаждения |
| V1311 | Отказ электропривода вентиляции |
| V1312 | Механическое повреждение вентиляции |
| V132 | Дефекты системы масляного охлаждения |
| V1321 | Попадание пыли и влаги в систему охлаждения (снижение охлаждающих свойств масла) |
| V1322 | Повреждение масляных клапанов |
| V1323 | Разрыв трубопровода системы охлаждения |
| V1324 | Низкий уровень масла в системе охлаждения |
| V13241 | Нарушение целостности бака (старение сварных соединений) |
| V13242 | Неисправности маслоуказателя |

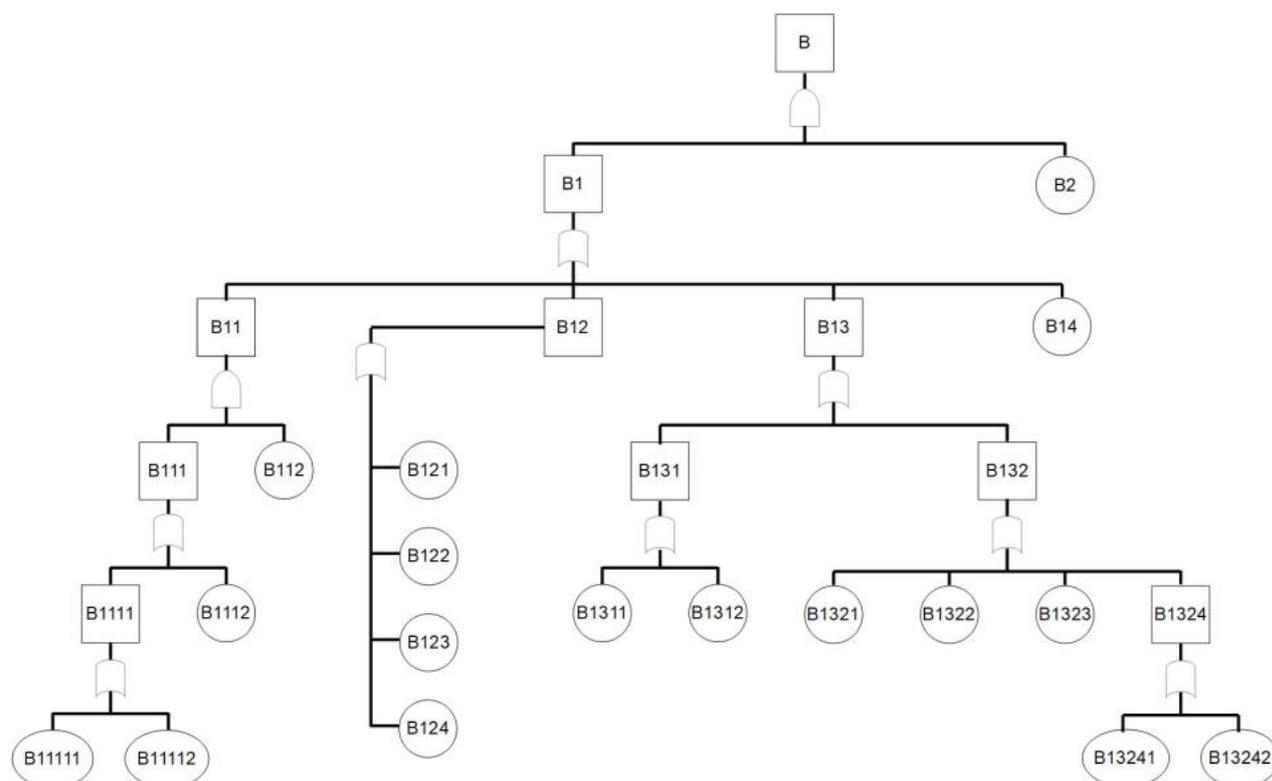


Рисунок 7 – Поддерево нагрева трансформаторного масла

Нагрев масла до температуры воспламенения (В) возможен одновременном появлении источника тепла (В1) и несрабатывании системы температурной защиты (В2).

при нагреве обмоток трансформатора вследствие перенапряжений (В11), вихретоковом нагреве магнитопровода (В12), отказе системы охлаждения (В13) и нагреве за счет источника зажигания (В14).

Нагрев обмоток вследствие перегрузок реализуется за счет перенапряжения системы (В111) при одновременном отказе релейной защиты от перенапряжений (В112). Повышение напряжения на токоведущих частях может быть обусловлено перекрытием между вводами напряжений и контактами переключателя напряжений (В1111) или коммутационными перенапряжениями (В1112) в электрической сети, в которой работает трансформатор. Перекрытие может быть вследствие наброса посторонних токопроводящих предметов на вводы (В11111), например, при обрыве постороннего провода, или при дефектах переключателя напряжений (В11112).

Вихретоковый нагрев магнитопровода (В12) может происходить ввиду индукционного нагрева по четырем причинам: старение межлистовой изоляции (В121), повреждение стяжных элементов магнитопровода (В122), обрыв заземления магнитопровода (В123) или замыкание магнитного контура посторонними предметами (В124).

Система охлаждения структурно подразделяется на подсистемы воздушного и масляного типов, отказы каждой из которых (события В131 и В132 соответственно) приводят к нагреву трансформатора. Отказ системы воздушного охлаждения может происходить по электрическим причинам (В1311) и по механическим причинам (В1312). Для системы масляного охлаждения существует четыре причины отказов: попадание пыли и влаги в систему охлаждения (В1321), которое приводит к снижению охлаждающих свойств трансформаторного масла, повреждение масляных клапанов (В1322), разрыв трубопроводов системы охлаждения (В1323) или низкий уровень масла в системе охлаждения (В1324). Низкий уровень масла может наблюдаться по причине нарушения целостности сварных швов бака (В13241) или ввиду неисправности маслоуказателя (В13242).

Нагрев за счет постороннего источника зажигания (В14) может быть осуществлен преднамеренно посторонними лицами при проникновении на объект (поджог) либо по неосторожности, например, воспламенение пуха или листьев на поверхности маслоприемника под трансформатором при неосторожном обращении с огнем (курение, сварка). Далее в работе будет оцениваться только сценарий с непреднамеренным воспламенением и нагревом масла.

Построение дерева аварий силовых трансформаторов с воспламенением трансформаторного масла выявило 31 базовых событий, логические сочетания которых приводят к неблагоприятному исходу – головному событию.

3.3. Выбор и обоснование метода оценки рисков

Логическим продолжением предыдущего раздела является сравнительный анализ вероятностей возникновения базовых событий дерева отказов. Применение статистических методов обработки результатов в рамках работы не представляется возможным ввиду отсутствия статистических данных. В связи с этим обстоятельством было принято решение о применении метода экспертных оценок с ранжирующим типом ответа. Данный метод заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой их результатов.

Состав группы экспертов определяется их количеством и компетентностью. Оптимальное число экспертов лежит в диапазоне от 5 до 15 человек. Меньшее количество экспертов приводит к недостаточному охвату проблемы и увеличивает влияние каждого отдельно взятого эксперта на суммарный результат оценки. Большее количество экспертов усложняет обработку результатов, кроме того, в рамках выпускной квалификационной работы сложно подобрать широкую группу компетентных экспертов. Компетентность – степень квалификации эксперта в определенной области знаний, т.е. в сфере электроэнергетики. Эксперту необходимо разбираться в устройстве и принципах действия трансформаторной подстанции, иметь опыт работы или квалификацию в энергетической отрасли.

На основании мнений экспертов определяется компетентность отдельно взятых экспертов и обобщенный результат оценки. Компетентность экспертов оценивается по степени согласованности их оценок с групповой оценкой. Согласованность оценок экспертов можно проверить по значению коэффициента конкордации Кендалла. Коэффициент конкордации может принимать значения в пределах от 0 до 1. При полной согласованности мнений экспертов коэффициент конкордации равен единице. При полном разногласии – нулю. Наиболее реальным является случай частичной согласованности мнений экспертов. Если коэффициент меньше 0,4 мнения считаются несогласованными [17].

Общая оценка события высчитывается путем вычисления среднего значения оценок группы экспертов с учетом среднеквадратичного отклонения и дисперсии. При выполнении обработки оценок будет применена программа STATISTICA, вероятностные расчеты будут проведены с применением ПО Mathcad.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС

Для проведения экспертной оценки разработано два опросных листа: по событиям, приводящим к возникновению источника зажигания, и по событиям, приводящим к нагреву трансформаторного масла до температуры воспламенения. Опросные листы приведены в Приложении А.

В качестве экспертной группы были выбраны 8 человек из числа выпускников ТПУ по направлению «Электроэнергетика и электротехника», которые имеют знания в области эксплуатации аналогичных трансформаторных подстанций и работали в энергетической отрасли.

Экспертам было необходимо определить вероятность наступления рассматриваемых базовых событий (приведены в деревьях отказов) на трансформаторной подстанции по пятибалльной шкале:

1. 1 балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %, в среднем: 10 %);
2. 2 балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %, в среднем: 30 %);
3. 3 балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %, в среднем: 50 %);
4. 4 балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %, в среднем: 70 %);
5. 5 баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %, в среднем 90 %).

Результаты опроса приведены в Приложении Б.

Для поддерева событий Б – образование источника зажигания – были определены средние оценки экспертов, которые были пересчитаны в значение вероятности. Также был определен коэффициент конкордации, равный 0,845. Значение коэффициента оказалось больше 0,4, что позволяет говорить о

согласованности мнений экспертов. Полученные данные приведены в таблице 6.

Таблица 6 –Результаты статистической обработки опросного листа 1

| № события | Средняя оценка | Средняя вероятность события, % |
|-----------|----------------|--------------------------------|
| 1 | 3,125 | 52,5 |
| 2 | 2,750 | 45,0 |
| 3 | 2,750 | 45,0 |
| 4 | 1,250 | 15,0 |
| 5 | 2,625 | 42,5 |
| 6 | 1,000 | 10,0 |
| 7 | 1,500 | 20,0 |
| 8 | 1,000 | 10,0 |
| 9 | 2,375 | 37,5 |
| 10 | 1,000 | 10,0 |
| 11 | 1,000 | 10,0 |
| 12 | 3,125 | 52,5 |
| 13 | 1,250 | 15,0 |
| 14 | 1,250 | 15,0 |

Наибольшей вероятностью обладают события 1 (старение и износ межвитковой изоляции обмоток) и 12 (отгорание контактов вводов напряжений в аварийных режимах работы). Для наглядности приведем графическое распределение (рисунок 8) значений средних оценок экспертов с учетом стандартного отклонения (SD) и стандартной ошибки среднего (SE).

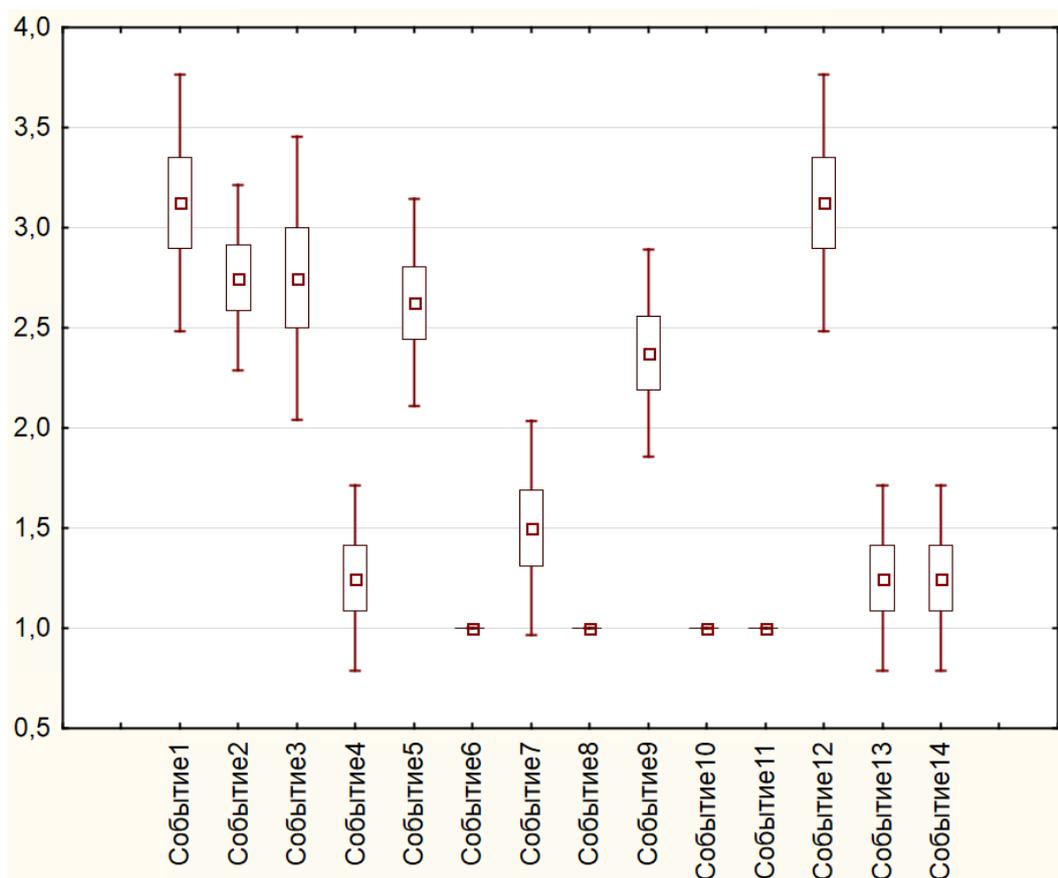


Рисунок 8 – Графическое представление результатов экспертной оценки событий, приводящих к образованию источника зажигания

Аналогичная статистическая обработка была произведена для поддерева В – нагрев масла до температуры воспламенения. Коэффициент конкордации составил 0,816; это говорит о согласованности мнений экспертов. Полученные данные приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты статистической обработки опросного листа 2

| № события | Средняя оценка | Средняя вероятность события, % |
|-----------|----------------|--------------------------------|
| 1 | 1,000 | 10 |
| 2 | 1,250 | 15 |
| 3 | 4,000 | 70 |
| 4 | 1,500 | 20 |
| 5 | 1,750 | 25 |
| 6 | 2,000 | 30 |
| 7 | 1,000 | 10 |
| 8 | 1,000 | 10 |
| 9 | 2,250 | 35 |

Продолжение таблицы 7

| | | |
|----|-------|------|
| 10 | 3,250 | 55 |
| 11 | 3,500 | 60 |
| 12 | 1,375 | 17,5 |
| 13 | 1,000 | 10 |
| 14 | 3,000 | 50 |
| 15 | 1,750 | 25 |
| 16 | 1,500 | 20 |
| 17 | 1,250 | 15 |

Наибольшей вероятностью обладают события 3 (коммутационное перенапряжение электроустановки), 11 (попадание пыли и влаги в систему охлаждения: снижение охлаждающих свойств масла) и 14 (нарушение целостности бака: старение сварных соединений). Для наглядности представим результаты графически на рисунке 9.

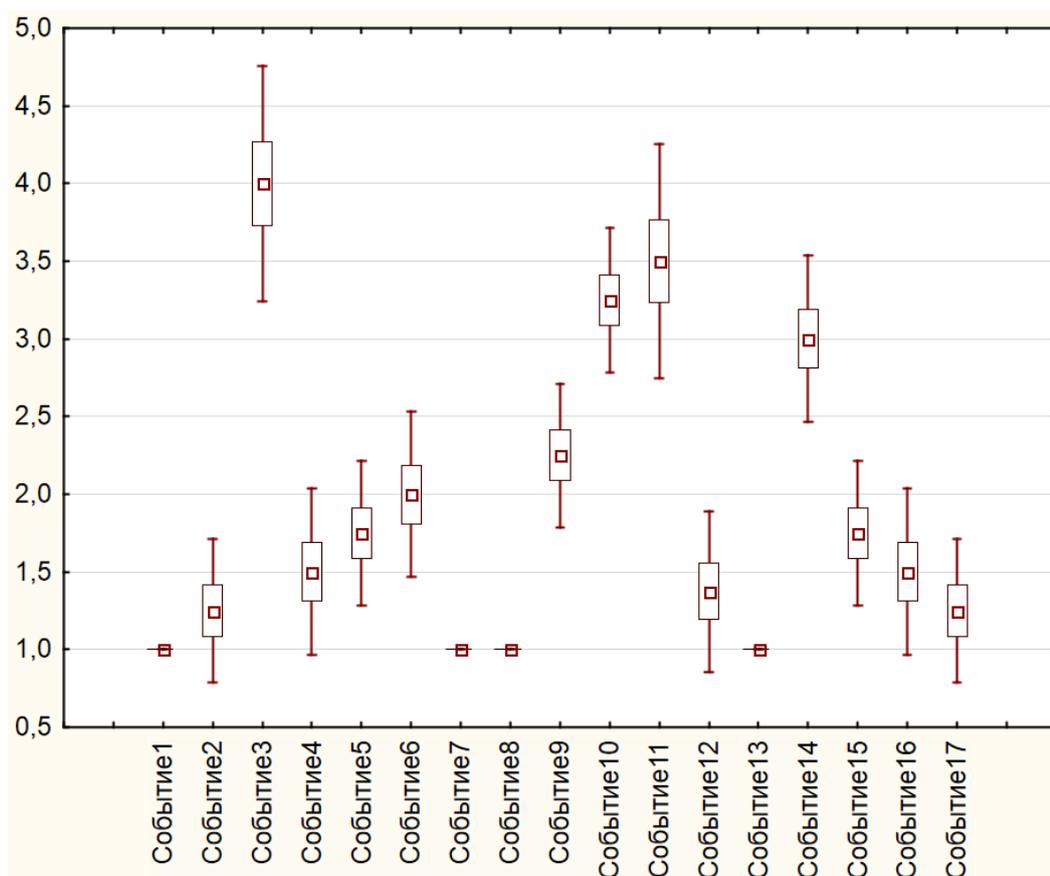


Рисунок 9 – Графическое представление результатов экспертной оценки событий, приводящих к нагреву масла до температуры воспламенения

Выявлены некоторые общие тенденции в экспертных оценках специалистов. Во-первых, компоненты системы релейной защиты и автоматики (электрозащита, тепловая и газовая защита) считаются системами с высокой надежностью. Во-вторых, наиболее вероятными причинами аварий являются ненормальные режимы работы электроустановок (коммутационные перенапряжения) и явления старения различных элементов трансформатора (изоляция, сварные швы бака, контакты вводов напряжений).

На основании данных о средних вероятностях, полученных экспертным методом, произведем расчет вероятности наступления головного события А – аварии с воспламенением масла (взрыва). Расчеты производились на основании логических операторов между, соединяющих события в дереве отказов, которые приведены ниже для операторов «И», «ИЛИ» соответственно:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i), \quad (2)$$

Приведем пример расчетов для события В1111 – перекрытие между вводами напряжений и контактами переключателя напряжений, которое реализуется при одновременном наступлении событий В11112 и В11112 (события 1 и 2 в опросном листе 2) – наброс посторонних токопроводящих предметов на вводы или появление дефектов переключателя напряжений.

$$P(\text{В1111}) = 1 - (1 - P(1)) \times (1 - P(2)), \quad (3)$$

$$P(\text{В1111}) = 1 - (1 - 0,1) \times (1 - 0,15) = 0,235. \quad (4)$$

Посредством математических расчетов вероятностей в ПО Mathcad определены вероятности для поддеревьев Б и В, которые составили 0,1761 (17,61 %) и 0,1232 (12,32 %) соответственно. Из соотношения вероятностей событий Б и В очевидно, что образование источника зажигания вносит больший вклад в общую вероятность аварии с воспламенением трансформаторного масла. Значение вероятности головного события А является произведением (одновременное образование источника зажигания и нагрев масла) приведенных выше вероятностей. Вероятность наступления рассматриваемой аварии составила 0,0217 (2,17 %), что позволяет говорить о

незначительном риске реализации рассматриваемого события и подтверждает предположение о низкой вероятности аварий на силовых трансформаторных подстанциях.

4.2. Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Рассмотрен сценарий взрыва трансформаторной подстанции с масляным типом охлаждения, поэтому будут произведены расчеты для двух поражающих факторов взрыва: давления воздушной ударной волны и интенсивности теплового излучения. Расчеты будут производиться в соответствии с методами согласно ГОСТ Р 12.3.047–2012 [18].

Для расчетов необходимо знать параметры трансформаторного масла:

- температура вспышки – 135 °С;
- НКПП – 0,29 % (об.);
- молярная масса – 303,9 кг/кмоль;
- характеристика вещества – горючая жидкость;
- теплота сгорания – 43,1 мДж/кг [19].

В рассматриваемом сценарии происходит взрыв одного трансформатора ТРДН-25000/110-УХЛ1 с массой масла 12800 кг. Расстояние до объектов промышленного типа составляет 45 и 160 метров, до административной застройки – 200 метров. Доля масла, участвующего во взрывном превращении, составляет 30% от общей и равна 3840 килограмм.

Произведем расчет приведенной массы топливно-воздушной смеси при взрыве:

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{г}}}{Q_0} \times m_{\text{г}} \times Z, \quad (5)$$

где $Q_{\text{г}}$ – удельная теплота сгорания вещества, Дж/кг;

Z – коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,1;

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{\text{г}}$ – масса горючего вещества, кг.

$$m_{\text{пр}} = \frac{43,1}{4,52} \times 3840 \times 0,1 = 3661,6 \text{ кг.} \quad (6)$$

Для дальнейших расчетов потребуется формула избыточного давления воздушной ударной волны:

$$\Delta P = P_0 \times \left(0.8 \times \frac{m_{\text{пр}}^{0.33}}{r} + 3 \times \frac{m_{\text{пр}}^{0.66}}{r^2} + 5 \times \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (7)$$

Из формулы расчета избыточного давления произведем расчеты зон радиусов разрушений, результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Радиусы зон поражения воздушной ударной волны

| Степень разрушения зданий | Величина избыточного давления, кПа | Радиус зоны разрушений, м |
|---|------------------------------------|---------------------------|
| Полное разрушение зданий | 100 | 40 |
| 50%-ное разрушение зданий (сильные разрушения) | 53 | 57 |
| Средние повреждения зданий | 28 | 83 |
| Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.) | 12 | 147 |

Таким образом, одно из промышленных зданий (на расстоянии 45 м) попадает в зону сильных разрушений, остальные рассматриваемые объекты находятся за пределами зон поражения зданий воздушной ударной волной. Отразим зоны разрушений на рисунке 10.



Рисунок 10 – Зоны разрушений при взрыве трансформатора

Для рассматриваемого здания определим точное значение величины избыточного давления волны взрыва:

$$\Delta P = 101.3 \times \left(0.8 \times \frac{3661.6^{0.33}}{45} + 3 \times \frac{3661.6^{0.66}}{45^2} + 5 \times \frac{3661.6}{45^3} \right) = 81,1 \text{ кПа.} \quad (8)$$

Далее рассчитаем параметры интенсивности теплового излучения для ближайшего здания. Для расчета интенсивности излучения «огненного шара» (ОШ) необходимо рассчитать угловой коэффициент облученности.

$$F_q = \frac{D_s^2}{4 \times (H^2 + r^2)}, \quad (9)$$

где H – высота центра «огненного шара», м;

D_s – эффективный диаметр «огненного шара», м;

r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Эффективный диаметр ОШ равен:

$$D_s = 6.48 \times m^{0.325} = 6,48 \times 3840^{0.325} = 93,2 \text{ м.} \quad (10)$$

Коэффициент облученности при условии, что $H = D_s/2 = 46,6$ м:

$$F_q = \frac{93,2^2}{4 \times (46,6^2 + 45^2)} = 0,518 \quad (11)$$

Время существования ОШ:

$$t_s = 0.852 \times m^{0.26} = 0,852 \times 3840^{0.26} = 7,2 \text{ с.} \quad (12)$$

Принимаем среднеповерхностную плотность теплового излучения пламени за 350 кВт/м^2 , т.к. справочных данных для трансформаторного масла нет.

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp(-7 \times 10^{-4} \times (\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2})), \quad (13)$$

$$\tau = \exp(-7 \times 10^{-4} \times (\sqrt{45^2 + 46.6^2} - \frac{93,2}{2})) = 0,987. \quad (14)$$

Интенсивность теплового излучения равна:

$$q = E_f \times F_q \times \tau = 350 \times 0,518 \times 0,987 = 179 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}. \quad (15)$$

Доза теплового излучения:

$$Q = q \times t_s = 179 \times 10^3 \times 7,2 = 12,9 \times 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}. \quad (16).$$

По дозе излучения персонал за пределами зданий получит ожоги третьей степени и выше и травмы, несовместимые с жизнью. По интенсивности излучения невозможно определить повреждения здания ввиду малой длительности воздействия излучения.

По результатам расчетов можно заключить, что основным поражающим фактором для близлежащих объектов является воздушная ударная волна взрыва, в связи с этим необходимо внедрить меры по снижению величины данного фактора.

4.3. Разработка мероприятий по снижению вероятности ЧС

Мероприятия по снижению вероятности аварии со взрывом силового трансформатора на основании предыдущих глав следует разделить на две группы:

1. Проактивные мероприятия (предупреждение взрыва);

2. Реактивные мероприятия (снижение поражающих факторов при реализации аварии).

Проактивные мероприятия

Проактивные мероприятия можно разделить на два направления:

1. организационные мероприятия, связанные с повышением качества системы РЗиА;
2. технические мероприятия, связанные с контролем старения (своевременная замена и повышение устойчивости) элементов трансформатора.

К организационным мероприятиям относятся меры по контролю системы РЗиА и других частей трансформатора.

Релейная защита и автоматика подстанции должна соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок» и выполнять функции автоматического отключения поврежденного элемента от остальной, неповрежденной части электрической системы, реагирования на опасные, ненормальные режимы работы элементов электрической системы [20]. Экспертная оценка выявила, что системы РЗиА обладают высокой степенью надежности, их существенное принципиальное улучшение ограничено, поэтому данный вид мероприятий предлагаться не будет.

Мероприятия по повышению устойчивости наиболее уязвимых элементов трансформатора (слоевая изоляция, вводы напряжений, сварные швы бака) подразделяются на контрольные и защитные. Для контроля состояния сварных соединений рекомендуется проводить измерение толщины сварных швов в соответствии с ГОСТ 3242-79 [21], также проводить ежедневный визуальный и приборный (по снижению давления манометра) контроль бака на наличие течей масла. Основой слоевой изоляции является масло, важно производить ежегодное испытание диэлектрических свойств масла и производить его замену или очистку. Также необходимо проводить периодические испытания изоляторов вводов напряжений согласно ГОСТ Р

52082-2003 [22] или ГОСТ Р 52034-2008 [23] для полимерных и керамических опорных изоляторов соответственно.

Предлагаемыми техническими защитными мероприятиями для рассматриваемой электроустановки являются:

1. замена керамических изоляторов вводов высшего напряжения (ВН) на полимерные аналоги;
2. холодное цинкование сварных швов бака трансформатора.

Полимерные изоляторы имеют повышенную механическая прочность и повышенную устойчивость к агрессивным воздействиям окружающей среды (солнечная радиация, перепады температур, влажности, попадание пыли) в сравнении с керамическими аналогами. При этом полимерные изоляторы имеют ещё и лучшие показатели электрической прочности – напряженности электрического поля, приводящей к пробоем изолятора [24].

Холодное цинкование – это нанесение на подготовленную поверхность металла специального состава с высоким (более 95%) содержанием цинка для образования стойкого к коррозии покрытия. Данное мероприятие предлагается ввиду простоты нанесения покрытия (покраска кистью) и стойкости покрытия к растворению в масле.

Для расчета величины сниженного риска необходимо произвести переоценку вероятности аварии с учетом двух предлагаемых мероприятий. Замена изоляторов влияет на события 7 (старение и износ изоляторов вводов напряжений) и 12 (отгорание контактов вводов напряжений в аварийных режимах работы) опросного листа 1. Холодное цинкование влияет на событие 14 опросного листа 2 (нарушение целостности бака: старение сварных швов). Данные повторной оценки мероприятий экспертами приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты повторной оценки событий экспертами

| Оценка эксперта | Событие 7/1 | Событие 12/1 | Событие 14/2 |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| Эксперт 1 | 1 | 2 | 2 |
| Эксперт 2 | 1 | 4 | 3 |
| Эксперт 3 | 1 | 3 | 3 |
| Эксперт 4 | 2 | 3 | 2 |

Продолжение таблицы 9

| | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Эксперт 5 | 1 | 3 | 2 |
| Эксперт 6 | 1 | 2 | 3 |
| Эксперт 7 | 2 | 3 | 2 |
| Эксперт 8 | 1 | 2 | 2 |
| Средняя оценка | 1,250 | 2,750 | 2,375 |
| Средняя вероятность, % | 15 | 45 | 37,5 |

При перечете вероятности наступления головного события было выявлено, что замена вводов напряжения снижает вероятность события Б до 16,72 % с исходных 17,61 %; цинкование сварных швов оказывает влияние на целостность бака, однако на общую вероятность нагрева масла (событие В) существенного влияния не оказывает, вероятность неизменна с точностью до сотых процента и составляет всё те же исходные 12,32 %. Мероприятие по оцинковке следует считать технически нецелесообразным, т.к. не приводит к снижению ущерба. Вероятность головного события с учетом изменившихся оценок составила 2,06 %.

Оценим величину предотвращенного ущерба (ПУ) при проведении мероприятия по замене изоляторов вводов напряжения.

$$ПУ = (P(A)_0 - P(A)_1) \times C, \quad (17)$$

где ПУ – величина предотвращенного ущерба,

$P(A)_0, P(A)_1$ – вероятности аварии до и после проведения мероприятий;

C – стоимость трансформатора.

При стоимости трансформатора 10,7 млн. рублей рассчитаем величину предотвращенного ущерба:

$$ПУ = (0,0217 - 0,0206) \times 10,7 \times 10^6 = 11770 \text{ руб.} \quad (18)$$

Для оценки экономической эффективности мероприятий оценим стоимость внедрения (В) как разность цен трех полимерных изоляторов и имеющихся фарфоровых изоляторов. Цены вводов напряжения приведены согласно каталогу компании ЗАО «Пан-Энерго» [25].

$$В = 3 \times (Ц_1 - Ц_0) = 3 \times (380 - 355) \times 10^3 = 75000 \text{ руб,} \quad (19)$$

где $Ц_0, Ц_1$ – цена одиночного керамического и полимерного вводов.

Таким образом, экономическая эффективность определяется как разность предотвращенного ущерба и стоимости внедрения мероприятий и составляет:

$$\mathcal{E} = \text{ПУ} - \text{В} = 11700 - 75000 = -63300 \text{ руб.} \quad (20)$$

Отрицательная величина эффективности говорит о том, что замена вводов напряжений не является экономически целесообразной в контексте рассмотрения трансформатора в отдельности.

Исходя из предположения о том, что все основные объекты подстанции (ОПУ, ОРУ, ЗРУ, КТПБ, трансформаторы собственных нужд, молниеотводы, радиомачты) попадают в зону полных разрушений, рассчитаем полный предотвращенный ущерб для подстанции. С учетом того, что стоимость всех основных объектов согласно смете составляет 152 млн. рублей, получаем:

$$\text{ПУ}_{\text{полн}} = (P(A)_0 - P(A)_1) \times C, \quad (21)$$

$$\text{ПУ}_{\text{полн}} = (0,0217 - 0,0206) \times 152 \times 10^6 = 176200 \text{ руб.} \quad (22)$$

При повышении стоимости затрат вдвое (два силовых трансформатора), что составит 150 000 рублей, получаем полную экономическую эффективность:

$$\mathcal{E}_{\text{полн}} = \text{ПУ}_{\text{полн}} - \text{В}_{\text{полн}} = 176200 - 150000 = 26200 \text{ руб.} \quad (23)$$

Оценим процент экономической эффективности к затратам:

$$\mathcal{E}\% = \frac{\mathcal{E}_{\text{полн}}}{\text{В}_{\text{полн}}} \times 100\% = \frac{26200}{150000} \times 100\% = 17,5\%. \quad (24)$$

Таким образом, замена фарфоровых изоляторов вводов напряжений двух силовых трансформаторов на полимерные является экономически выгодным мероприятием, которое предлагается к проведению на подстанции.

Реактивные мероприятия

Реактивные мероприятия направлены на снижение воздействия воздушной ударной волны взрыва. Предлагаемым мероприятием по снижению воздействия воздушной ударной волны взрыва на подстанцию и соседние объекты является установка мембранного предохранительного устройства. В качестве решения рассматривается установка предохранительного узла с хлопающей мембраной, срабатывающая при давлении внутри бака 200 кПа.

Стенки и система маслопровода бака выдерживают давление в 300 кПа [26], что позволяет избежать разрушения самого трансформатора при установке системы. Существует метод расчета площади требуемой безопасной площади разгерметизации согласно ГОСТ Р 12.3047-2012, приложение Н [18]. В рамках рассматриваемой работы применение точных расчетов по методу невозможно ввиду недостаточности экспериментальных данных по параметрам взрыва топливно-воздушной смеси трансформаторного масла.

При реализации взрыва также рекомендуется заменить стальной бак для трансформаторного масла на бак, сделанный из энергопоглощающего материала. Преимуществом бака из энергопоглощающего материала является способность оставаться целым без повреждений при избыточном давлении. Поглощение энергии происходит с помощью последовательно деформируемых перегородок, следовательно, минеральное масло, находящееся внутри, получит минимальные повреждения.

Для снижения количества попадающей в трансформатор пыли и влаги необходим регулярный осмотр фильтров воздухообмена и сорбента (силикагеля) и их своевременная замена.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целями раздела «Социальная ответственность» являются выявление и анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте, в аудитории №601 учебного корпуса №18 ТПУ; разработка мер по снижению воздействия этих факторов на персонал; снижение вредных воздействий на окружающую среду; снижение влияния опасностей природного и техногенного характера.

Социальная ответственность должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование не возобновляемых природных ресурсов.

5.1. Производственная безопасность

5.1.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

В данном разделе работы подвергается рассмотрению учебная аудитория №601 18-ого корпуса ТПУ, в которой выполняются работы по исследованию рисков возникновения ЧС на объектах электросетевого хозяйства на персональном компьютере.

Согласно ГОСТ 12.0.00.-2015 [1] произведем классификацию возможных вредных и опасных факторов при выполнении работ. Подразделение работы на этапы не представляется необходимым ввиду однотипности выполняемой работы.

Таблица 10 – Возможные вредные и опасные факторы

| Фактор по ГОСТ 12.0.003-2015 | Нормативные документы |
|---|-------------------------------------|
| Отклонение показателей микроклимата | СанПиН 2.2.4.548-96 |
| Превышение уровня шума | СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 |
| Повышенный уровень электромагнитных излучений | ОСТ 54 30013-83 СП 52.13330.2016 |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ НПБ 105-03 |
| Поражение электрическим током | СНиП 21-01-97 Противопожарные нормы |
| Пожарная опасность | |

5.1.2. Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Для определения параметров необходимо выявить категорию работ по интенсивности энергозатрат в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [2]. К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.). Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Оптимальные нормы микроклимата

| Период года | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | 22-24 | 40-60 | 0.1 |
| Теплый | 23-25 | | 0.1 |

Таблица 12 – Допустимые нормы микроклимата

| Температура воздуха, °С | | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Нижняя допустимая граница | Верхняя допустимая граница | | |
| 15 | 28 | 20-80 | < 0.5 |

Аудитория НИ ТПУ находится в регионе с умеренным континентальным климатом с широким диапазоном сезонных температур (от минус 45 °С в зимний период до плюс 35 °С в летний). Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100 °С, а в теплое время года – за счет кондиционирования.

5.1.3. Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 [3] при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов: стекловолокно, пористые полимеры и резины, асбестоцементные перфорированные плиты);
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

1. применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.1.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц [1]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer Aspire V5-571G со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83 [4]):

- а) до 10 мкВт/см^2 , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см^2 , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см^2 , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см^2 .

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;
2. защита расстоянием;
3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
4. экранирование заземленным экраном;
5. защита рабочего места от излучения.

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

5.1.5. Отклонение параметров освещенности

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. При недостаточном освещении рабочего помещения у персонала ухудшается общее самочувствие, снижается работоспособность и сопротивляемость к простудным и другим заболеваниям, также снижается зрение и внимание. Недостаток естественного освещения в лаборатории (в связи с его отсутствием в темное время суток или по другой причине) должен компенсироваться посредством искусственного общего освещения.

В рассматриваемом помещении (учебная аудитория высшего учебного заведения) при выполнении заявленных работ в соответствии с СП 52.13330.2016 [5] выявлены следующие необходимые параметры освещенности и приведены в таблице 13:

Таблица 13– Необходимые параметры освещенности помещения

| Помещение | Освещенность рабочих поверхностей при общем освещении, лк | Коэффициент пульсации освещенности, %, не более | Разряд и подразряд зрительной работы | Плоскость (Г-горизонтальная, В-вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м |
|---|---|---|--------------------------------------|---|
| Аудитории, учебные высших учебных заведений | 400 | 10 | А-2 | Г-0,8 |

Общая освещенность в аудитории должна быть не менее 400 лк. Пульсации света оказывают влияние на зрительную функцию человека, а также на нервную систему. Пульсации измеряются коэффициентом пульсации света. Для аудитории норма коэффициента пульсации составляет до 10%. Для минимизации пульсации света применяют разнофазное подключение светильников.

5.1.6. Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [6].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасностью поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1$ А; $U < (2-36)$ В; $R_{\text{зазем}} < 4$ Ом. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении. Электрооборудование должно быть обесточено при появлении признаков горения (искрение и открытый огонь, дым, запах гари), обнаружении видимых повреждений токоведущих частей и возникновении угрозы жизни персоналу.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. Заземление и зануление корпусов электрооборудования и приборов;
2. Подключение электрооборудования в цепь через разделительный трансформатор;

3. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

5.1.7. Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 [7] лаборатория относится к категории В–горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 [8] (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара в помещении преимущественно электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. К неэлектрическим

относятся халатное обращение с нагревательными приборами и использование открытого огня (розжиг, курение).

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для локализации пожара в помещении аудитории следует предусмотреть наличие огнетушителя возле входной двери и ручного пожарного извещателя в коридоре. Аудитория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу. Приведем план эвакуации на рисунке 11.



Рисунок 11 – План эвакуации шестого этажа 18-ого корпуса ТПУ

5.2. Экологическая безопасность

Выполнение поставленных в ВКР задач связано с работой на персональном компьютере, функционирование которого не приводит к непосредственному экологическому ущербу литосфере, гидросфере и атмосфере. Поэтому в текущем разделе будут рассмотрены вопросы утилизации объектов в помещении аудитории: компьютеров, люминесцентных ламп и бумажных отходов.

Утилизация персональных компьютеров

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся: свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему); ртуть (поражает мозг и нервную систему); никель и цинк (могут вызывать дерматит); щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу).

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

1. отделение металлических частей от неметаллических;
2. сортировка металлических элементов по материалу (медь, алюминий, драгоценные металлы), измельчение и прессовка с целью компактности хранения;
3. складирование и накопление металлических элементов;
4. измельчение и сбор неметаллических отходов.

Утилизация люминесцентных ламп

В соответствии с федеральным классификационным каталогом отходов, утвержденным приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242, лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства отнесены к отходам I класса опасности (чрезвычайно опасные отходы). Количество ртути в отработанной лампе может варьироваться в зависимости от вида лампочки и обычно составляет в среднем 3-5 мг на единицу изделия. Опасность отработанных и деформированных ламп обусловлена значительным негативным воздействием ртути и ее паров на человека и другие живые организмы.

Для утилизации ламп необходимо:

1. Выделить отдельное помещение для хранения и накопления отработанных ламп в помещении, защищенном от химически агрессивных веществ, атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод, а также в местах, исключающих повреждение тары.

Утилизация бумажных отходов

В соответствии с требованиями для утилизации бумаги необходимо:

1. Удалить посторонние включения в бумагу (скрепки, скобы);
2. Сортировать бумагу по классам качества (применяется преимущественно белая бумага высокого качества класса А);
3. Измельчить и спрессовать бумаги, содержащие коммерческую или государственную тайну и персональные данные сотрудников
4. Организовать место хранения отходов, удовлетворяющее требованиям пожарной безопасности.

Утилизация обрезков проводов

Для подготовки проводов к утилизации необходимо:

1. Произвести сортировку (разделить медные и алюминиевые провода);
2. Разделить изоляцию и металлические жилы (механическим или криогенным или химическим способом);
3. Спрессовать и упаковать изоляцию;
4. Измельчить металлические куски и спрессовать;
5. Обеспечить хранение материалов.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В качестве ЧС природного характера рассмотрены низкие температуры окружающей среды. Достижение критически низких температур может приводить к авариям в системах теплоснабжения, водоснабжения, электроснабжения и затруднению доступа сотрудников к месту работы.

В случае замерзания труб теплоцентралей должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы обеспечить соблюдение требований по микроклимату. Также необходимо обеспечить сотрудников дополнительными СИЗ от холода.

На случай замерзания системы водоснабжения необходимо заготовить запас питьевой воды на наибольшую работающую смену.

В случае отказа сетевого электроснабжения, нужно обеспечить запасные источники электроэнергии в виде резервных дизельных электрогенераторов и аккумуляторных накопителей.

Для обеспечения доступа персонала на работу необходимо содержать парк служебного транспорта. Автомобили должны содержаться в отапливаемых гаражах и технически исправными и подготовленными к дорожному движению в зимнее время.

В качестве ЧС техногенного характера рассмотрена диверсия. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие

необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.4. Перечень НТД

1. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
2. СанПиН 2.2.4.548-96 . Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы.
4. ОСТ 54 30013-83. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
5. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
6. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
7. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
8. СНИП 21-01-97 Противопожарные нормы.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В рамках дипломной работы «Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства» производится анализ и оценка рисков аварий с воспламенением трансформаторного масла на силовых электрических подстанциях. Оценка осуществляется с применением технологии выявления мнения группы экспертов, а именно с помощью опросного листа с независимым опросом экспертов.

6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов ВКР могут быть сетевые организации, владеющие силовыми трансформаторами рассматриваемых типов. Сетевые организации – коммерческие организации, имеющие на праве собственности или ином законном основании объекты электросетевого хозяйства, которые оказывают услуги по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства.

По результатам анализа было произведено сегментирование рынка потребителей по двум критериям: по классу высшего напряжения силовой подстанции и по масштабу сетевой организации, приведено в таблице 14.

Таблица 14 – Карта сегментирования рынка

| | | Масштаб организации | | |
|---------------------|---|---------------------|-----------------|-----------------|
| | | Федеральный | Межрегиональный | Территориальный |
| Класс ВН подстанции | Сверхвысокого напряжения (от 330 до 750 кВ) | + | + | – |
| | Высокого напряжения (от 110 до 220 кВ) | + | + | + |
| | Среднего первого напряжения (35 кВ) | – | + | + |

Из карты сегментирования рынка видно, что экспертные методы анализа аварий применимы к подстанциям любых номиналов напряжений, что говорит о высокой востребованности применяемого метода.

6.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Существуют различные методы проведения экспертной оценки. В рамках раздела будет произведено конкурентное сравнение метода Делфи (независимого опроса с применением опросного листа для сбора оценок) с двумя другими технологиями выявления мнения: метод номинальной группы (коллективное согласование группой оценок событий) и метод опроса с главным экспертом (обработка ведущим экспертом результатов оценок остальной группы).

Для составления оценочной карты применяется пятибалльная шкала. В таблице 15 произведена оценка конкурентных решений.

Таблица 15 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|--|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | | Б ₁ | Б ₂ | Б ₃ | К ₁ | К ₂ | К ₃ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические и организационные критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Независимость мнений экспертов | 0,2 | 5 | 1 | 4 | 1,0 | 0,2 | 0,8 |
| 2. Простота организации и проведения опроса | 0,3 | 4 | 3 | 1 | 1,2 | 0,9 | 0,3 |
| 3. Простота математической обработки результатов | 0,1 | 3 | 5 | 5 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| 4. Степень вовлеченности отдельных экспертов | 0,1 | 5 | 3 | 5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность метода | 0,1 | 4 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 2. Уровень проникновения метода на рынок | 0,1 | 5 | 5 | 5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 3. Цена проведения экспертной оценки | 0,1 | 4 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Итого | 1 | 31 | 25 | 28 | 4,3 | 3,2 | 3,4 |

Из таблицы можно сделать вывод, что по степени экономической эффективности методы равнозначны, однако по техническим и

организационным критериям метод с независимым анкетированием посредством опросного листа имеет ряд преимуществ над конкурентами и проигрывает только в том, что требует некоторой математической обработки данных. Однако современное математическое программное обеспечение позволяет решить данную проблему. Ключевым преимуществом предлагаемого решения является простота организации и проведения опроса: в отличие от второго метода, нет необходимости сбора экспертов в одном месте, в отличие от третьего – нет затруднений с выбором главного эксперта, на которого ложится большой объем работ, и ожиданием результатов его финальной оценки.

6.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Первый этап SWOT-анализа

| | | |
|--|--|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Прогнозирование и выявление опасностей в широком масштабе</p> <p>С2. Способность охватывать различные виды отраслей энергетики</p> <p>С3. Устойчивое финансовое положение</p> <p>С4. Потребность предприятий в проведении оценки рисков</p> <p>С5. Постоянная информационная насыщенность.</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невозможность предвидеть все риски</p> <p>Сл2. Большой срок проведения исследования</p> <p>Сл3. Потребителям требуется индивидуальный подход</p> <p>Сл4. Низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков</p> <p>Сл5. Недостаток финансирования</p> <p>усовершенствование проекта.</p> |
|--|--|--|

Продолжение таблицы 3

| | | |
|--|--|--|
| <p>Возможности: В1.Создание партнерских отношений со всеми видами отраслей энергетики В2. Большой потенциал усовершенствования методики оценки рисков. В3. Сокращение энергозатрат за счет реализации функциональной стратегии в области ОТ, промышленной безопасности и экологии(HSE). В4.Рост и развитие новых трансформаторных подстанций, требующих проведения оценки рисков В5. Создание новых видов методик оценки рисков.</p> | | |
| <p>Угрозы У1. Падение спроса при появлении новых конкурентов У2. Невостребованность проекта в связи с истощением ресурсной базой У3.Неточность проведения оценки риска У4. Колебания цен на данное исследование. У5.Снижение цен у конкурентов</p> | | |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям),

либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 17-20.

Таблица 17 – Матрица «сильных сторон-возможностей»

| Сильные стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| | B1 | + | + | + | + | 0 |
| | B2 | - | - | 0 | 0 | + |
| | B3 | 0 | 0 | + | 0 | - |
| | B4 | + | + | 0 | + | + |
| | B5 | 0 | + | - | - | 0 |

Таблица 18 – Матрица «слабых сторон-возможностей»

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| | B1 | - | - | 0 | - | - |
| | B2 | + | + | + | + | 0 |
| | B3 | - | + | + | + | - |
| | B4 | - | - | + | - | - |
| | B5 | + | + | + | + | + |

Таблица 19 – Матрица «сильных сторон-угроз»

| Сильные стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| | У1 | - | + | + | - | - |
| | У2 | - | + | - | + | - |
| | У3 | + | + | - | - | + |
| | У4 | - | - | + | - | - |
| | У5 | 0 | - | 0 | - | - |

Таблица 20 – Матрица «слабых сторон-угроз»

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| | У1 | - | - | 0 | 0 | 0 |
| | У2 | - | - | - | 0 | - |
| | У3 | + | 0 | + | + | - |
| | У4 | + | - | - | - | 0 |
| | У5 | - | - | 0 | - | 0 |

По результатам анализа соответствий в матрице взаимосвязей был выполнен итоговый вариант SWOT-анализа, приведенный в таблице 21.

Таблица 21 – Итоговая матрица SWOT-анализа

| | | |
|--|---|---|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Прогнозирование и выявление опасностей в широком масштабе С2. Способность охватывать различные виды отраслей энергетики С3. Устойчивое финансовое положение С4. Потребность предприятий в проведении оценки рисков С5. Постоянная информационная насыщенность.</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Невозможность предвидеть все риски Сл2. Большой срок проведения исследования Сл3. Для каждого потребителя требуется индивидуальный подход Сл4. Низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков Сл5. Недостаток финансирования на усовершенствование проекта.</p> |
| <p>Возможности: В1.Создание партнерских отношений со всеми видами отраслей энергетики В2. Большой потенциал усовершенствования методики оценки рисков. В3. Сокращение энергозатрат за счет реализации функциональной стратегии в области ОТ, промышленной безопасности и экологии(HSE). В4.Рост и развитие новых трансформаторных подстанций, требующих проведения оценки рисков В5. Создание новых видов методик оценки рисков.</p> | <p>– Способность охватывать различные виды отраслей и возможность в прогнозировании и выявлении опасностей в широком масштабе дают большую возможность создавать партнерские отношения со всеми видами отраслевой промышленности, тем самым сохранять устойчивость финансового положения. – каждым годом количество новых трансформаторных подстанции увеличивается и, поэтому, увеличивается необходимость в проведении оценки рисков, следовательно, растет востребованность методики.</p> | <p>– Методика нуждается в усовершенствовании, т. к. в ней есть некоторые негативные моменты, такие как невозможность предвидеть все риски, большой срок проведения исследования и низкая скорость продвижения новых технологий в области оценки рисков, при этом для каждого потребителя требуется индивидуальный подход. – При реализации функциональной стратегии в области охраны труда, промышленной безопасности и экологии(HSE) сократятся все негативные моменты, напрямую зависящие от энергозатрат. – Целесообразность в создании новых видов методик оценки рисков состоит в том, чтобы повысить положительные стороны и минимизировать негативные.</p> |

Продолжение таблицы 21

| | | |
|--|--|--|
| <p>Угрозы У1. Падение спроса при появлении новых конкурентов У2. Невостребованность проекта в связи с истощением ресурсной базой У3. Неточность проведения оценки риска У4. Колебания цен на данное исследование. У5. Снижение цен у конкурентов</p> | <p>– При появлении новых конкурентов на рынке следует ожидать падение спроса и, как в следствие этого, снижение финансового положения, и, возможно, сосредоточение только на определенных потребителях. – При истощении ресурсной базы потребитель будет вынужден прекратить своё производство и отказаться от услуг исследования, что ведет к невостребованности проекта. – Несмотря на большие возможности проекта, имеется потенциальная возможность неточности проведения оценки рисков.</p> | <p>– Все вышеперечисленные негативные моменты напрямую связаны с неточностью проведения оценки риска, поэтому методика нуждается в усовершенствовании.</p> |
|--|--|--|

6.2. Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Это отражено в таблице 22.

Таблица 22 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|-------|--|---|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение плана работ | Руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент |
| Выбор направления исследований | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Студент |
| | 3 | Выбор направления исследований | Руководитель, студент |
| | 4 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель, студент |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5 | Разработка модели дерева отказов ЧС | Студент |
| | 6 | Выполнение анализа причин и поражающих факторов ЧС | Студент |
| | 7 | Разработка мероприятий по снижению рисков ЧС | Студент, руководитель |

Продолжение таблицы 22

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|-------|---|----------------------------|
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель, студент |
| | 9 | Определение целесообразности проведения ВКР | Руководитель, студент |
| Проведение ВКР | | | |
| Разработка технической документации и проектирование | 10 | Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства | Студент |
| | 11 | Оценка эффективности применения метода | Студент, консультант по ЭЧ |
| | 12 | Разработка социальной ответственности по теме | Студент, консультант по СО |
| Оформление комплекта документации по ВКР | 13 | Составление пояснительной записки | Студент |

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты являются одним из основных факторов, влияющих на стоимости разработки, исходя из этого можно сделать вывод, что важным моментом будет определение трудоемкости работ каждого участника научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспериментальным путем и характеризуется такой величиной, как человеко-дни и она носит вероятностный характер, это обусловлено зависимостью от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{\Psi_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

Ψ_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.2.3. Разработка графика научного исследования

Проведения научных работ, можно наиболее наглядным и удобным способом представить в виде построения ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Временные показатели проведения работ

| Название работы | Трудоёмкость работ | | | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях T_{pi} | Длительность работ в календарных днях T_{ki} |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|---|
| | t_{min} , чел-дни | t_{max} , чел-дни | $t_{\text{ожс}}$, чел-дни | | | |
| Составление и утверждение плана работ | 1 | 3 | 1,8 | Руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент | 0,45 | 1 |
| Подбор и изучение материалов по теме | 2 | 5 | 3,2 | Студент | 3,2 | 5 |
| Выбор направления исследований | 1 | 2 | 1,4 | Руководитель, студент | 0,7 | 1 |
| Календарное планирование работ по теме | 1 | 2 | 1,4 | Руководитель, студент | 0,7 | 1 |
| Разработка модели дерева отказов ЧС | 1 | 2 | 1,4 | Студент | 1,4 | 2 |
| Выполнение анализа причин и поражающих факторов ЧС | 4 | 9 | 6 | Студент | 6 | 9 |
| Разработка мероприятий по снижению рисков ЧС | 2 | 4 | 2,8 | Студент, руководитель | 1,4 | 2 |
| Оценка эффективности полученных результатов | 1 | 2 | 1,4 | Руководитель, студент | 0,7 | 1 |

Продолжение таблицы 23

| | | | | | | |
|---|----|----|-----|----------------------------|-----|----|
| Определение целесообразности проведения ВКР | 4 | 7 | 5,2 | Руководитель, студент | 2,6 | 4 |
| Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах электросетевого хозяйства | 3 | 8 | 5 | Студент | 5 | 7 |
| Оценка эффективности применения метода | 7 | 12 | 9 | Студент, консультант по ЭЧ | 4,5 | 7 |
| Разработка социальной ответственности по теме | 7 | 12 | 9 | Студент, консультант СО | 4,5 | 7 |
| Составление пояснительной записки | 10 | 15 | 12 | Студент | 12 | 18 |

На основе таблицы 23 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 11 с разбивкам по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования (таблица 24).

Таблица 24 – Календарный план-график выполнения ВКР по теме

| № работ | Вид работ | Исполнители | T _{кi} , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|---|----------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|--|--|
| | | | | февр. | | март | | | апрель | | | май | | | июнь | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | | |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент | 1 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Студент | 5 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Выбор направления исследований | Руководитель, студент | 1 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|--|-------------------|
| | студент |
| | руководитель |
| | консультант по ЭЧ |
| | консультант по СО |

Рисунок 12 – Условные обозначения на графике Ганта

6.3. Бюджет научно-технического исследования

6.3.1. Расчет затрат на специально оборудование для проведения работ

В данной статье отображены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме. Все расчёты по приобретению спецоборудования сведены в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчёт бюджета затрат на приобретение оборудования

| № | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, руб. | Общая стоимость оборудования, тыс. руб. |
|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | Ноутбук Acer Aspire V5 | 1 | 25000 | 25000 |
| Итого | | | | 25000 |

6.3.2. Основная заработная плата исполнителей работ

В данной статье отображена основная заработная плата работников, участвующих в выполнении работ по данной теме.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 7);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 26).

Таблица 26 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Студент | Консультант ЭЧ | Консультант СО |
|--|--------------|---------|----------------|----------------|
| Календарное число дней | 365 | 365 | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней | 52 | 52 | 52 | 52 |
| - выходные дни | 14 | 14 | 14 | 14 |
| - праздничные дни | | | | |
| Потери рабочего времени | 48 | 48 | 48 | 48 |
| - отпуск | 7 | 7 | 7 | 7 |
| - невыходы по болезни | | | | |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 245 | 245 | 245 | 245 |

Месячный должностной оклад работника:

должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Разряд | k_t | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | k_d | k_p | Z_m , руб | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|-----------------------------------|--------|-------|--------------------|----------|-------|-------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Руководитель | 15 | 7,36 | 4416 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 8611,2 | 393,65 | 6,55 | 2578,4 |
| Студент | 6 | 2,44 | 1464 | | | | 2854,8 | 130,5 | 43,15 | 5631 |
| Консультант ЭЧ | 17 | 9,07 | 5442 | | | | 10611,9 | 485,12 | 4,95 | 2401,3 |
| Консультант СО | 14 | 6,51 | 3906 | | | | 7616,7 | 348,192 | 4,95 | 1723,55 |
| Итого $Z_{осн}$ | | | | | | | | | | 12334,25 |

6.3.3. Дополнительная заработная плата исполнителей работ

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная плата исполнителей заявленных работ представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Общая заработная плата исполнителей

| Исполнитель | З _{осн} , руб. | З _{доп} , руб. | З _{ит} , руб. |
|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Руководитель | 2578,4 | 386,76 | 2965,16 |
| Студент | 5631 | 844,65 | 6475,65 |
| Консультант ЭЧ | 2401,3 | 360,195 | 2761,5 |
| Консультант СО | 1723,55 | 258,53 | 1982,08 |
| Итого | 12334,25 | 1850,135 | 14184,39 |

6.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), на 2021 г. размер страховых взносов равен 22%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель | 2578,4 | 386,76 |
| Студент | 5631 | 844,65 |
| Консультант ЭЧ | 2401,3 | 360,195 |
| Консультант СО | 1723,55 | 258,53 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 0,22 | |
| Итого 3120,57 | | |

6.3.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4),$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов бралась в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (25000 + 12334,25 + 14184,39 + 3120,57) = 8742,27 \text{ руб.}$$

6.3.6. Формирование бюджета проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнению приведёт в таблице 30.

Таблица 30 – Бюджет затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | Примечание |
|--|-------------|-------------|
| 1. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 25000 | Пункт 1.3.1 |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 12334,25 | Пункт 1.3.2 |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 14184,39 | Пункт 1.3.3 |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды | 3120,57 | Пункт 1.3.4 |
| 5. Накладные расходы | 8742,27 | Пункт 1.3.5 |
| 6. Бюджет затрат НТИ | 63384,48 | |

6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Расчет интегрального показателя финансовой эффективности производиться не будет, т.к. оба исполнения проекта подразумевают одинаковый бюджет и различаются лишь методом проведения опроса. В дальнейших расчетах для трех вариантов исполнения будет приниматься равным 1.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 31.

Таблица 31 – Сравнительная оценка вариантов исполнения проекта

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1. Способствует росту производительности труда | 0,4 | 5 | 4 | 4 |
| 2. Удобство проведения исследования | 0,3 | 5 | 3 | 2 |
| 3. Простота проведения обработки исследования | 0,1 | 3 | 5 | 5 |
| 4. Воспроизводимость метода | 0,2 | 5 | 5 | 5 |
| ИТОГО | 1 | 4,8 | 4,0 | 3,7 |

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 32) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.н}}{I_{исп.1}}$$

Таблица 32 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп.1 | Исп.2 | Исп.2 |
|-------|---|-------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,8 | 4,0 | 3,7 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 4,8 | 4,0 | 3,7 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1 | 0,83 | 0,77 |

Сравнительный анализ методов проведения исследования показал, что выбранный метод и его исполнение являются наиболее ресурсоэффективным способом выполнения работ.

Таким образом в ходе написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены: проведено сегментирование рынка, составлена матрица SWOT-анализа, определены структура работ в рамках научного исследования, трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования, определены риски проекта, определена ресурсная (ресурсосберегающей) эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы на основании литературных данных была разработана модель реализации аварии с воспламенением трансформаторного масла на подстанции ПС «ОЭЗ-2» 110/10кВ, ВЛ-110кВ с двумя силовыми трансформаторами мощностью 25 МВА. При моделировании методом дерева отказов была выявлена 31 базовая причина, которая может привести к анализируемой аварии на трансформаторной подстанции. По результатам проведения экспертного оценивания выявлены наиболее вероятные причины аварий: ненормальные режимы работы электроустановок (коммутационные перенапряжения) и явления старения различных элементов трансформатора (изоляция, сварные швы бака, контакты вводов напряжений). Статистическая обработка экспертных оценок показала согласованность мнений специалистов в оценке вероятностей реализации исходных событий в дереве отказов. Была оценена вероятность реализации рассматриваемой аварии с воспламенением трансформаторного масла, она составила 2,17 %, что позволяет говорить о высокой надежности силовых трансформаторов.

Также в работе были определены величины поражающих факторов взрыва трансформатора – избыточное давление воздушной ударной волны и интенсивность теплового излучения. На расположенные вблизи подстанции здания основное поражающее влияние может оказать воздушная ударная волна, для которой определены зоны возможного поражающего действия. В результате расчетов выявлено, что одно из зданий попадает в зону сильных разрушений. Для минимизации возможного негативного воздействия были предложены меры по снижению влияния данного поражающего фактора.

Предложены мероприятия по снижению риска возникновения ЧС. Рекомендуется соблюдать актуальные требования к системе релейной защиты и автоматики, защитного заземления на этапе проектирования. При эксплуатации следует контролировать износ элементов трансформатора. На этом же этапе для снижения давления ударной волны взрыва рекомендуется установить

мембранные предохранительные устройства для сброса давления и предусмотреть энергопоглощающие стенки бака трансформатора.

Было предложено два проактивных мероприятия по снижению риска ЧС: холодное цинкование сварных швов бака и замена фарфоровых изоляторов вводов напряжений полимерными аналогами. Первое мероприятие оказалось неэффективным с позиции снижения общей вероятности аварии. Замена вводов напряжений снизила вероятность аварии на 0,11 %. Кроме того, экономическая эффективность мероприятия составила 26 200 рублей, что позволяет говорить об экономической целесообразности его проведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный оператор ЕЭС: Единая энергетическая система России / URL: <https://www.so-ups.ru/?id=962>, свободный, – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения 05.12.2020 г.
2. Савина Н.В. Электроэнергетические системы и сети, часть первая: учебное пособие / Н.В. Савина. // Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 177с.
3. Передача и распределение электроэнергии: Учеб. пособие./ В. Н. Костин, Е. В. Распопов, Е. А. Родченко // СПб.: СЗТУ, 2003 – 147 с.
4. ГОСТ 24291-90 Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения.
5. Электрические машины: Учебное пособие: Для студентов заочного и очного обучения / Прохоров С.Г., Хуснутдинов Р.А. // Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2002. 140 с.
6. Электрические системы и сети. Часть 1 : учебное пособие / В.В. Афонин, К.А. Набатов. // –Тамбов : Изд-во ФГБОУВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с.
7. Электрические машины : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М. М. Кацман // 12-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 496 с.
8. Жматов Д. В. Идентификация риска отказов силовых трансформаторов в электроэнергетике / Д. В. Жматов // М.: Издательство МИЭИЭ, журнал Энергобезопасность и энергосбережение, выпуск №6, 2017. – с. 47-49.
9. Vahidi, Farzaneh & Tenbohlen, Stefan. (2014). Statistical Failure Analysis of European Substation Transformers.
10. Мироненко Я. В. Обеспечение безопасности на объектах электроэнергетической отрасли. Пожарная безопасность / Я. В. Мироненко // М.: Издательство ООО «Алгоритм безопасности», журнал Алгоритм безопасности, выпуск №4, 2017 – с. 66-69.

11. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные.
12. ГОСТ Р 58771–2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.
13. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения.
14. ГОСТ Р 51901.13-2005 Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей (приложение А).
15. Пожаровзрывозащита: учебное пособие / сост. А.И. Сечин, О.С. Кырмакова; Томский политехнический университет.–Томск: Изд-во ТПУ, 2015.–248с.
16. ГОСТ 12.1.044-89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
17. Методы обработки экспертной информации: учебно-метод. Пособие / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП. СПб., 2005. 42 с.
18. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
19. Пособие по применению НПБ 105-95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации / Шебеко Ю.Н., Смолин И М , Молчадский И.С. и др. -М.: ВНИИПО, 1998. – 119 с.
20. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. (утв. Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.1979) (ред. от 20.06.2003).
21. ГОСТ 3242-79 Соединения сварные. Методы контроля качества.
22. ГОСТ Р 52082-2003 Изоляторы полимерные опорные наружной установки на напряжение 6-220 кВ. Общие технические требования.
23. ГОСТ Р 52034-2008 Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия.

24. Высоковольтные изоляторы : метод . указания / О . В . Узлов , Б . Ю . Васильев , М . Ю . Ванеев . – Ухта : УГТУ , 2009. – 22 с.

25. Вводы высоковольтные 35КВ, 110КВ, 220КВ [Электронный ресурс] / URL: <https://ktpural.com/g35064579-vvody-vysokovoltnye-35kv>, свободный, – Загл с экрана – Яз. рус. Дата обращения 05.05.2021 г.

26. РД 16 363-87 Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Опросные листы

На основании предложенных в опросных листах событий необходимо оценить вероятность неблагоприятных событий в соответствии с предложенной шкалой. Производить оценку необходимо на основании знаний и опыта работы в электроэнергетической отрасли.

Описание ситуации: трансформаторная подстанция ПС «ОЭЗ-2» 110/10кВ, ВЛ-110кВ с двумя масляными трансформаторами типа ТРДН-25000/110-УХЛ1 – с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) и системой охлаждения вида «Д» (естественная циркуляция масла и принудительная циркуляция воздуха). Масса масла одного трансформатора – 12800 кг.

Необходимо оценить вероятность наступления события по пятибалльной шкале:

1. 1 балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %);
2. 2 балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %);
3. 3 балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %);
4. 4 балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %);
5. 5 баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %).

Таблица 33 – События, приводящие к образованию источника зажигания
(опросный лист 1)

| № | Событие | Балл |
|---|--|------|
| 1 | Старение и износ межвитковой изоляции обмоток | |
| 2 | Нарушение целостности слоевой изоляции (старение бумажных прокладок) | |
| 3 | Заливание осадков внутрь бака через негерметичности крышки | |
| 4 | Попадание влаги в масло с воздухом ввиду старения адсорбента | |
| 5 | Электрическое старение масла | |
| 6 | Некачественная очистка масла или замена масла на несоответствующее характеристикам | |
| 7 | Старение и износ изоляторов вводов напряжений и контактов переключателя напряжений | |
| 8 | Некачественный электромонтаж токоотводов и заземлителей | |

Продолжение таблицы 33

| | | |
|----|---|--|
| 9 | Обрыв молниеприемника и токоотводов при штормовых явлениях | |
| 10 | Грозовой удар молнии в трансформатор | |
| 11 | Несрабатывание релейной защиты от коротких замыканий | |
| 12 | Отгорание контактов вводов напряжений в аварийных режимах работы | |
| 13 | Искрение по причине некачественного монтажа контактов вводов напряжений | |
| 14 | Несрабатывание газовой защиты (газовое реле) | |

Таблица 34 – События, приводящие к нагреву масла до температуры воспламенения (опросный лист 2)

| № | Событие | Балл |
|----|--|------|
| 1 | Наброс посторонних токопроводящих предметов на вводы | |
| 2 | Дефекты переключателя напряжений | |
| 3 | Коммутационное перенапряжение | |
| 4 | Несрабатывание релейной защиты от перенапряжений | |
| 5 | Старение межлистовой изоляции | |
| 6 | Повреждение стяжных элементов магнитопровода | |
| 7 | Обрыв заземления магнитопровода | |
| 8 | Замыкания магнитного контура посторонними предметами | |
| 9 | Отказ электропривода вентиляции | |
| 10 | Механическое повреждение вентиляции | |
| 11 | Попадание пыли и влаги в систему охлаждения (снижение охлаждающих свойств масла) | |
| 12 | Повреждение масляных клапанов | |
| 13 | Разрыв трубопровода системы охлаждения | |
| 14 | Нарушение целостности бака (старение сварных соединений) | |
| 15 | Неисправности маслоуказателя | |
| 16 | Нагрев от постороннего источника зажигания | |
| 17 | Несрабатывание системы температурного контроля (тепловое реле) | |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 35 – Сводная таблица экспертных оценок к опросному листу 1

| № | Событие | № эксперта | | | | | | | | Ср. знач |
|----|--|------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1 | Старение и износ межвитковой изоляции обмоток | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3,125 |
| 2 | Нарушение целостности слоевой изоляции (старение бумажных прокладок) | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,750 |
| 3 | Заливание осадков внутрь бака через негерметичности крышки | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2,750 |
| 4 | Попадание влаги в масло с воздухом ввиду старения адсорбента | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,250 |
| 5 | Электрическое старение масла | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,625 |
| 6 | Некачественная очистка масла или замена масла на несоответствующее характеристикам | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 7 | Старение и износ изоляторов вводов напряжений и контактов переключателя напряжений | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1,500 |
| 8 | Некачественный электромонтаж токоотводов и заземлителей | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 9 | Обрыв молниеприемника и токоотводов при штормовых явлениях | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2,375 |
| 10 | Грозовой удар молнии в трансформатор | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 11 | Несрабатывание релейной защиты от коротких замыканий | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 12 | Отгорание контактов вводов напряжений в аварийных режимах работы | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3,125 |
| 13 | Искрение по причине некачественного монтажа контактов вводов напряжений | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,250 |
| 14 | Несрабатывание газовой защиты (газовое реле) | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1,250 |

Таблица 36 – Сводная таблица экспертных оценок к опросному листу 2

| № | Событие | № эксперта | | | | | | | | Ср. знач |
|----|--|------------|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1 | Наброс посторонних токопроводящих предметов на вводы | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 2 | Дефекты переключателя напряжений | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,250 |
| 3 | Коммутационное перенапряжение | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4,000 |
| 4 | Несрабатывание релейной защиты от перенапряжений | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1,500 |
| 5 | Старение межлистовой изоляции | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1,750 |
| 6 | Повреждение стержневых элементов магнитопровода | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2,000 |
| 7 | Обрыв заземления магнитопровода | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 8 | Замыкания магнитного контура посторонними предметами | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 9 | Отказ электропривода вентиляции | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,250 |
| 10 | Механическое повреждение вентиляции | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3,250 |
| 11 | Попадание пыли и влаги в систему охлаждения (снижение охлаждающих свойств масла) | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3,500 |
| 12 | Повреждение масляных клапанов | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1,375 |
| 13 | Разрыв трубопровода системы охлаждения | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,000 |
| 14 | Нарушение целостности бака (старение сварных соединений) | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3,000 |
| 15 | Неисправности маслоуказателя | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1,750 |
| 16 | Нагрев от постороннего источника зажигания | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1,500 |
| 17 | Несрабатывание системы температурной защиты (тепловое реле) | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,250 |