

*На правах рукописи*

**ТОШХОДЖАЕВА Мухайё Исломовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ  
НАДЁЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ВЛЭП-110 кВ  
В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА  
(на примере Согдийской энергосистемы Республики Таджикистан)**

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и  
электроэнергетические системы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Чебоксары – 2018

Работа выполнена на кафедре электроснабжения и интеллектуальных электроэнергетических систем имени А.А. Фёдорова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова».

**Научный руководитель:** **Щедрин Владимир Александрович**, кандидат технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Вахнина Вера Васильевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение и электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

**Мартынов Михаил Владимирович**, кандидат технических наук, ведущий инженер-исследователь отдела разработок 02 РЗА общества с ограниченной ответственностью «Релематика»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Защита диссертации состоится « 08 » февраля 2019 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.301.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» по адресу г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38, учебный корпус 3, зал заседаний Ученого совета, к. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова по адресу: 428034, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38 и на сайте [www.chuvsu.ru](http://www.chuvsu.ru).

Автореферат разослан « 19 » ноября 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.301.02  
к.т.н., доцент

Серебрянников А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Обеспечение надёжной работы энергосистемы Республики Таджикистан в нормальных и чрезвычайных условиях является основной стратегической задачей развития электроэнергетики и энергетической безопасности страны. В соответствии со статьей 4 закона Республики Таджикистан «Об энергетике» (от 29.11.2000, № 33, с изменениями и дополнениями от 28.12.2013 г., №1054) важной целью государственной политики в области энергетики является надёжное и качественное удовлетворение растущих потребностей республики в энергетических ресурсах и продуктах.

Для решения этих задач необходимо совершенствовать условия эксплуатации электрических сетей на основе внедрения современных методов и технологий. Воздушные линии электропередач (ВЛЭП) как составная часть энергосистемы играют главную роль в обеспечении её системной надёжности. На территории Согдийской области функционируют системообразующие и распределительные сети напряжением 500, 220, 110 кВ. В энергосистеме преобладают сети напряжением 110 кВ, которые имеют относительно большую протяженность (62,3 % от общей протяженности ВЛЭП). На начало 2018 г. общая протяженность ВЛЭП-110 кВ энергосистемы составила 558 км, из них: 107 км – двухцепные линии, 451 км – одноцепные. Но ВЛЭП, в отличие от других видов электрооборудования, более подвержены природно-климатическим воздействиям.

В данной работе установлено, что от общего количества отказов за 2011–2017 гг. 14% составляют отказы от неправильного действия устройств РЗ и А, 25% отказов являются следствием воздействия дождя и снега, 12% – от отключения ВЛЭП из-за перекрытия фаз перелетными птицами, 18% аварий – от обрыва проводов из-за сильного ветра. Как показывают исследования, наиболее частыми видами повреждений являются несимметричные короткие замыкания (КЗ) на землю проводов под воздействием сильного ветра, дождя и других факторов. Значительный ущерб от воздействия сильного ветра только при аварии 26.12.2017 г., по данным службы надёжности и техники безопасности (СН и ТБ) Согдийских электрических сетей составил 10 млн. рублей. Среди причин отключения ВЛЭП особое место занимает перекрытие фаз перелетными птицами. Такие отключения имеют сезонный характер и, как правило, являются неустойчивыми. Это важная проблема экологического характера, поскольку гибнут редкие птицы, занесенные в Красную книгу.

Сравнение параметров потока отказов ВЛЭП за период с 2011 по 2017 гг. с нормативными данными показало, что эти параметры превышают нормативные значения в среднем в 4,43 раза.

Как показывают исследования, кроме вышеприведенных факторов, на надёжность электроснабжения также влияет принудительное отключение линий или в результате недопустимого снижения напряжения.

Начиная с 90-х гг. в Республике Таджикистан практически прекратились работы по техническому перевооружению, строительству новых и реконструкции существующих электрических сетей. Основным показателем технического состояния ВЛЭП-110 кВ служит срок эксплуатации. Анализ повреждений ВЛЭП-110 кВ показал, что на количество аварий влияют не только технологические, но и природные факторы. Это положение особенно актуально в условиях интенсивного изменения климата. По данным метеослужбы в Таджикистане наблюдается интенсивное отклонение климатических показателей от среднегодовых норм (температуры – на 17,4 %, осадков – на 23,2 %, скорости ветра – на 10,5 % и др.).

Такое положение обуславливает необходимость теоретического обоснования, выбора оптимального варианта модернизации и реконструкции ВЛЭП с применением современных технологий, совершенствования процесса ревизии и ремонта ВЛЭП-110 кВ.

Исходя из этого, актуальной задачей является повышение надёжности и эффективности в условиях резко континентального климата на основе оптимизации вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ.

**Степень разработанности проблемы.** Для повышения надёжности ВЛЭП-110 кВ от воздействия природно-климатических и эксплуатационных факторов в нашей стране и за рубежом ведутся научные разработки и мероприятия по их смягчению. Решению проблем повышения надёжности ВЛЭП и электрооборудований в целом посвящены фундаментальные работы научных школ: ФГУП «Всероссийский электротехнический университет им. В.И. Ленина», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Казанский государственный энергетический университет, Самарский государственный технический университет, «Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева», а также других профильных научных учреждений.

Значительный вклад в исследования и повышению надёжности ВЛЭП с учётом воздействия природно-климатических факторов и развитие её теории внесли известные учёные: Н.Ю. Руденко, Ю.А. Фокин, Ю.Б. Гук, Е.А. Конюхова, А.Н. Назарычев, Г.Ф. Ковалев, В. Непомнящий, В. Овсейчук, М.Н. Розанов, А.А. Складчиков, О.И. Доронина, R. Billinton, R. Allan J.V. Wareing, K. Mattsson и др.

**Объект исследования** – эксплуатационные состояния воздушных линий электропередач напряжением 110 кВ в условиях резко континентального климата.

**Предмет исследования** – влияние природных факторов на надёжность и экологичность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата.

**Соответствие паспорту специальности.** Работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы, пункт 11. Разработка методов анализа структурной и функциональной надёжности электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

**Целью диссертационной работы является:** исследование и оценка влияния эксплуатационных факторов на надёжность и экологичность ВЛЭП-110 кВ и разработка мероприятий по повышению эксплуатационной надёжности ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата.

Решение следующих задач приводит к достижению сформулированной выше цели:

1. Установление факторов, снижающих надёжность электроснабжения региона на основе анализа причин отказов воздушных линий электропередачи.

2. Построение корреляционно-регрессионной модели аварийности и определение степени влияния природных факторов на надёжность ВЛЭП.

3. Разработка алгоритма выбора оптимального типа конструкции опор, проводов, изоляторов ВЛЭП-110 кВ с учетом природных и эксплуатационных факторов.

4. Определение оптимального варианта реконструкции ВЛЭП-110 кВ с заданной степенью надёжности и обоснование её технико-экономических показателей.

#### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Обоснование и ранжирование основных причин и факторов, влияющих на надёжность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата.

2. Выявление количественной зависимости отказов от природных и эксплуатационных факторов, на основе разработки экономико-математической модели применительно к ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата.

3. Разработка алгоритма и методики выбора оптимального варианта типа конструкции опор, проводов, изоляторов ВЛЭП-110 кВ.

4. Определение показателя надёжности и критерия эффективности функционирования ВЛЭП-110 кВ.

#### **Научная новизна работы:**

1. Проведены теоретический анализ и статистическая обработка данных по основным причинам и факторам, влияющих на надёжность ВЛЭП-110 кВ, отличающиеся от известных тем, что они выполнены для условий резко континентального климата.

2. Получены уравнения многофакторной регрессии связи природных и эксплуатационных факторов и отказов воздушных линий электропередачи 110 кВ в условиях резко континентального климата для Согдийской энергосистемы на основе корреляционно-регрессионного метода.

3. Разработаны методы анализа функциональной надёжности энергосистемы и предложены показатели надёжности и критерий эффективности функционирования ВЛЭП-110 кВ, которые отражают системный эффект от внедрения мероприятий, способствующих повышению надёжности ВЛЭП-110 кВ. Эти показатели, в отличие от существующих положений, учитывают совокупное воздействие природных и эксплуатационных факторов.

4. Разработаны алгоритм и методика выбора оптимального варианта типа конструкции ВЛЭП-110 кВ с заданной степенью надёжности в условиях резко континентального климата, реализованные на ЭВМ для решения задач проектирования и эксплуатации энергосистемы.

**Теоретическая значимость работы заключается** в развитии теоретических положений по оценке функционирования ВЛЭП, которые в отличие от существующих подходов вопросы надёжности и эффективности рассматриваются в совокупности. Применение метода корреляционно-регрессионного анализа в исследовании отказов ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата.

**Практическая ценность:**

1. Предложенные алгоритм и программа выбора оптимизационной модели реконструкции ВЛЭП позволяет на практике повысить эффективность разрабатываемых проектов реконструкции ВЛЭП-110 кВ.

2. Рассчитанные в ходе исследования показатели надёжности, полученные критерии эффективности функционирования ВЛЭП-110 кВ позволяют повысить качество проектирования, эксплуатаций и реконструкции сетей с учётом природных и эксплуатационных факторов.

3. Разработанный алгоритм выбора типа конструкции опор и реконструкции ВЛЭП, позволяющий учитывать влияние природных и эксплуатационных факторов при их реконструкции, может быть использован в учебном процессе по направлению «Электрические станции и электроэнергетические системы».

**Методы исследования и достоверность результатов, изложенных в диссертации.** В работе использованы: метод корреляционно-регрессионного анализа, основные положения теоретических основ электротехники, методы многокритериальной оптимизации, теория вероятностей и математическая статистика, методы оценки эффективности инвестиционных проектов. Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается применением хорошо известных методов исследований, сравнением экспериментальных данных с теоретическими.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертации применяются ОАХК «Барки Точик» при реконструкции действующих ВЛЭП-110 кВ, а также для прогнозирования и управления показателями надёжности. Разработанные методы оценки надёжности используются в учебном процессе на кафедре электроснабжения и автоматики ХПИТТУ имени акад. М.С. Осими.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы и её результаты докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских конференциях: международная научно-практическая конференция, посвященная десятилетию действий «Вода для жизни» (г. Чкаловск (Бустон), 24 апреля 2015 г.); Новое слово в науке-VI Международная научно-практическая конференция (г. Чебоксары, 2015); Труды академии электротехнических наук Чувашской Республики – XII научно-

техническая конференция молодых специалистов (г. Чебоксары, 2015); Международная научная конференция «Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов» (г. Уфа, 2016); Республиканская научно-практическая конференция: Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность (г. Душанбе, 2016); VIII международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки и образования» посвященная 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (г. Душанбе, 2016); III Международная (IV Всероссийская научно-техническая конференция «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий» (г. Уфа, 2017).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 18 статей, в том числе 2 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 основных глав, заключения, приложения, выполнена на 120 страницах, содержит 20 рисунков, 21 таблицу, перечень литературы из 131 наименований.

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель, новизна основных результатов и практическая ценность исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту. Дается аннотация содержания работы по разделам и структура диссертации. Указана апробация полученных результатов.

**Первая глава** диссертационной работы посвящена анализу причин снижения надёжности воздушных линий электропередач напряжением 110 кВ (ВЛЭП-110 кВ).

За последние десятилетия наблюдается интенсивное изменение не только температуры окружающей среды, но и скорости ветра в регионе. На территории Согдийской области наблюдается повышение температуры в некоторых регионах, в зависимости от высоты над уровнем моря, от 0,5 до 0 °С от 0 до 1 °С на равнинах. Это обусловлено созданием искусственных водохранилищ и уменьшением размеров ледников в горах.

Установлено, что основными причинами повреждаемости воздушных линий электропередач являются дождь, снег, сильный ветер, перелетные птицы, отказы функционирования устройств РЗ и А, ошибка персонала, повреждение элементов ЛЭП и др. На рисунке 1 приведен распределения причин отказов воздушных линий электропередач напряжением 110 кВ в процентах от общего числа отказов.

Анализ распределения отказов ВЛЭП-110 кВ Согдийской электрических сетей, показал, что пик отказов линий наблюдается в мае, что время прилета птиц совпадает с запуском двигателей оросительных систем. Из диаграммы видно, что в основном преобладают устойчивые отказы, связанные с перекрытием изоляционных расстояний под воздействием ветровых нагрузок, старением отдельных элементов ВЛЭП-110 кВ.

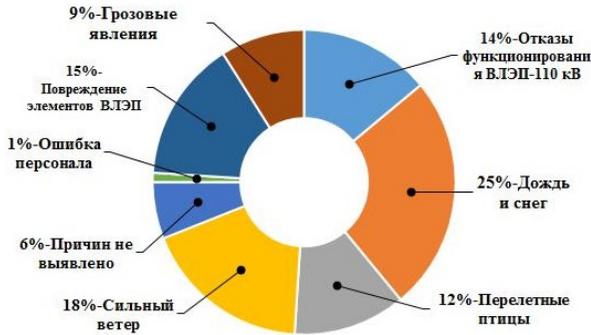


Рисунок 1 – Анализ распределения отказов в ВЛЭП-110 кВ

На рисунке 2, *а* приведено распределение отказов ВЛЭП-110 кВ по месяцам, а на рисунке 2, *б* – дана классификация отказов по отдельным элементам.

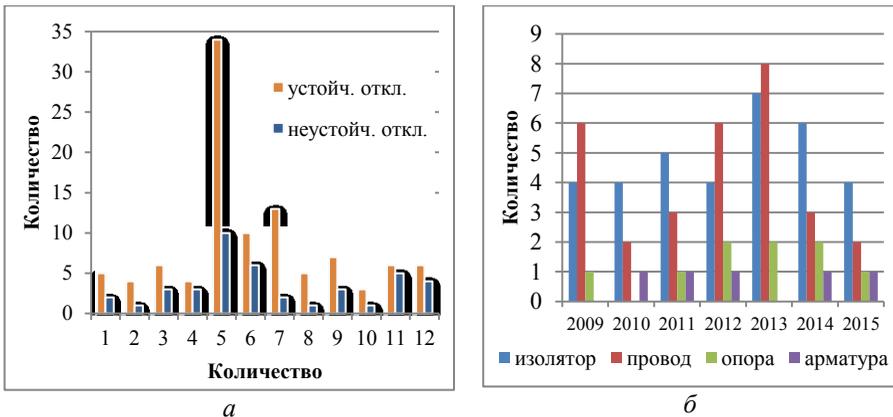


Рисунок 2 – Распределение отказов линий электропередач по месяцам (*а*); классификация отказов ВЛЭП-110 кВ по отдельным элементам (*б*)

Как видно из рисунка 2, *б*, наиболее уязвимыми элементами ВЛЭП-110 кВ являются провода и изоляторы, при этом количество отказов зависит от природных явлений, которые обусловлены воздействием различных факторов с течением времени.

В работе классифицированы методы оценки надежности ВЛЭП-110 кВ, и на основе сравнительного анализа проведена их систематизация (рисунок 3). При определении показателей надежности возможно применение физических, аналитических, топологических, статистических и других методов. Все вышеперечисленные методы можно применить с учётом постановки цели и задачи, но при исследовании причин аварий часто

возникает необходимость прогнозирования отказов (событий) с учетом климата региона. В этом случае целесообразно применить корреляционно-регрессионный метод исследования.



Рисунок 3 – Методы оценки надёжности ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата

При анализе методов оценки надежности технических систем, в том числе ВЛЭП выявлены, следующие проблемы:

- существующие методы оценки надежности технических систем: сложны и предназначены в основном для анализа простых систем. Кроме того, отсутствует унифицированный подход к составлению математической модели надежности ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата;

- вышеприведенные методы не выявляют взаимосвязь показателей надежности ВЛЭП-110 кВ и природных факторов. Отсутствуют модели, которые описывают и прогнозируют показатели надежности конкретных систем с учётом климатических факторов.

**Во второй главе** произведено ранжирование факторов, влияющих на надёжность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата и выполнен корреляционно-регрессионный анализ влияния внешних факторов на количество аварий ВЛЭП-110 кВ. Для анализа уровня надежности линий произведено 24 наблюдения за 6 лет. В качестве природных факторов из

официального сайта метеоцентра Республики Таджикистан и данных диспетчерской службы Согдийской энергосистемы выбраны следующие показатели: изменение температуры воздуха, скорость ветра, количество осадков, грозовые явления, изменение токовой нагрузки, увеличение стрелы провеса проводов ВЛЭП-110 кВ и др.

Факторы влияющие на надёжность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата, условно разделены на две группы (рисунок 4):

- эксплуатационные факторы: техническое состояние и природные воздействия на исследуемый объект;

- организационно-технические факторы: эффективность диспетчерского управления и условия проектирования ВЛЭП-110 кВ. Организационно-технические факторы, влияющие на надёжность ВЛЭП-110 кВ, неизмеримы; их можно прогнозировать и устранять с помощью специальных мероприятий, которые направлены на улучшение условий эксплуатации.

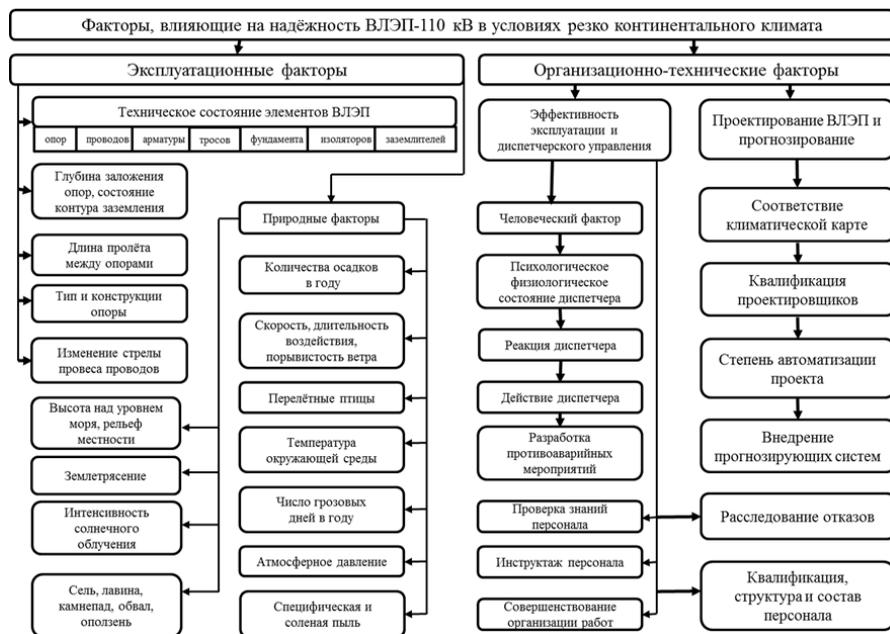


Рисунок 4 – Факторы, влияющие на надёжность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата

В работе произведен анализ и сделан отбор основных факторов, влияющих на надёжность ВЛЭП-110 кВ. При анализе выявлено, что эти воздействия носят стохастический характер, но тем не менее 6 случаев технологических нарушений из 10 являются следствием сильного ветра, повышенной температуры, камнепада, оползней, лавин, селя, ударов молнии,

града, землетрясения, перелетных птиц, специфической и соленой пыли, изменения рельефа местности и др. Отбор факторов при разработке математической модели производится исходя из того, какие факторы наиболее значимы в условиях резко континентального климата. В целях определения реальных физико-механических характеристик действующих проводов ВЛЭП произведен замер длин стрелы провеса в исследуемом объекте поквартально высотомером марки ВК-1.

Для анализа степени влияния вышеуказанных факторов, найдено среднее значение их. Статистические данные обработаны с помощью программы Eviews на ЭЦВМ методом наименьших квадратов. В результате обработки получено уравнение множественной регрессии, которое имеет вид:

$$Y = -9,59 + 1,92X_1 + 0,67X_2 + 3,88X_3 - 0,305X_4 + 6,12X_5 + 0,15X_6, \quad (1)$$

где  $Y$  – количество аварий ВЛЭП-110 кВ за квартал;  $X_1$  – среднее значение скорости ветра;  $X_2$  – среднее значение температуры окружающей среды;  $X_3$  – среднее значение токовой нагрузки на линии;  $X_4$  – среднее значение количества осадков;  $X_5$  – среднее значение изменений стрелы провеса провода,  $X_6$  – среднее значение технологических нарушений за счёт грозových перенапряжений.

По полученным расчётам коэффициент детерминации, показывающий связь между признаком  $Y$  и факторами  $X_i$ ,  $R^2 = 0,78$ , следовательно, 78 % отказов ВЛЭП-110 кВ, обусловлены воздействием природных и эксплуатационных факторов, а 22% – воздействием остальных факторов. Проверка адекватности уравнения произведен критерием  $F$ -статистики распределения Фишера. Для уравнения (1) значение  $F_{кр} = 3,09$ , а значения  $F = 6,89$ . Поскольку  $F_{кр} < F$ , то коэффициент детерминации является статистически значимым.

Из полученного уравнения (1) можно сделать вывод, что увеличение скорости ветра на относительную единицу приводит к увеличению отказов в среднем на 1,92 единиц, а увеличение температуры окружающей среды на относительную единицу приводит к увеличению нарушений на 0,67 единиц, увеличение же токовой нагрузки на линии приводит к возрастанию отказов в среднем на 3,88 единицы. При увеличении количества осадков на одну относительную единицу происходит уменьшение числа нарушений на 0,305 единиц. Кроме того, изменение стрелы провеса на одну относительную единицу приводит к возрастанию нарушений на 6,12 единиц, а увеличение числа ударов молнии на линию на относительную единицу приводит к увеличению отказов на 0,15 единиц. Статистическая обработка и корреляционно-регрессионный анализ влияния внешних факторов на отказ ВЛЭП-110 кВ показывает, что между скоростью ветра, солнечной радиацией, количеством осадков и отказами ВЛЭП-110 кВ имеет место достаточная высокая взаимосвязь, которая подтверждается полученным уравнением регрессии.

**В третьей главе** на основании выявленной связи между отказами и природными факторами разработаны варианты реконструкции ВЛЭП-110 кВ. Предложен комплексный показатель  $K_H$ , который объединяет показатели надежности при проектировании  $P_{\text{проект}}$  и эксплуатации  $P_{\text{экс}}$ , механическую прочность  $k_3^1$ , пропускную способность ВЛЭП-110 кВ по току  $I_{\text{max}}$  и минимум отказов  $\omega_{\text{min}}$  оборудования в условиях резко континентального климата, а также критерий экономичности, который обеспечивает минимум приведенных затрат  $Z_{\text{min}}$ :

$$K_H = f(P_{\text{проект}}; P_{\text{экс}}; k_3^1; I_{\text{max}}; \omega_{\text{min}} Z_{\text{min}}) \rightarrow \max. \quad (2)$$

В качестве критерия экономичности принимается чистый дисконтированный доход, которая вычисляется по формуле

$$K_3 = \text{ЧДД} = \left( \sum_{i=1}^{T_p} \sum_{j=1}^n B_{ij} - Z_{ij} \right) \alpha_d - \sum_{i=1}^{T_p} \sum_{j=1}^n K_i \cdot c_k \cdot \alpha_d \rightarrow \max. \quad (3)$$

Произведена сравнительная оценка предложенных вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ по комплексному показателю надежности. На примере участка ВЛЭП-110 кВ, который расположен в III районе по скоростному напору ветра, определены ожидаемые механические нагрузки на провода, что позволяет принимать оптимальные решения. Одним из наиболее приемлемых с точки зрения обеспечения надежности при реконструкции ВЛЭП является вариант строительства ЛЭП на многогранных металлических опорах, которые эксплуатируются в развитых странах мира на протяжении последних 50–55 лет. Опоры являются надежным элементом ВЛЭП. Их разрушение имеет весьма тяжелые последствия, которые приводят к значительным затратам, связанным с восстановлением опор и недоотпуском электроэнергии. Кроме того, время восстановления при таких авариях значительно больше, чем при отказах других элементов ВЛЭП. Повреждения ВЛЭП-110 кВ, связанные с частичным или полным повреждением многогранных металлических опор (ММО), наблюдаются гораздо реже, чем других видов опор, особенно в условиях резко континентального климата. ММО типа ПС 35/110 ПУ-9 эффективнее применять в горных условиях, так как при этом требуется меньшая площадь отводимой земли.

Предлагаются новые типы изоляторов ЛКП-110 кВ на основе полимерных материалов. Достоинство таких изоляторов заключается в следующем: они обладают меньшей удельной массой (в 8–10 раз по сравнению со стеклянными), компактностью, простой технологией изготовления, гидрофобностью, сравнительно низкой загрязняемостью, большим сроком эксплуатации, устойчивостью к воздействию природных факторов, меньшими трудозатратами при замене изоляторов ВЛЭП. Полимерные изоляторы также рекомендуются для применения в предгорных и горных местностях области. Усовершенствованный защитный экран вытянутой формы изоляторов ЛКП-110 кВ сохраняет положительные качества круглого экрана, что позволяет дождю беспрепятственно смывать загрязнения с изолятора и рекомендуется также, как птицевозащитный элемент ВЛЭП.

Как было установлено во второй, главе на количество технологических нарушений наибольшее влияние оказывает стрела провеса проводов. Увеличение этого показателя на одну единицу приводит к увеличению нарушений на 6,12 единиц. Следовательно, провода и грозозащитные тросы должны обладать механической прочностью, малым удельным электрическим сопротивлением, противостоять атмосферным воздействиям, достаточным удлинением на разрыв.

Так как на провода ВЛЭП в процессе эксплуатации, кроме механических и природных нагрузок, также влияют и токовые нагрузки, то для повышения надежности ВЛЭП-110 кВ предлагается три варианта проводов на основе композиционных материалов, которые нашли широкое применение за рубежом:

**Вариант I** – композиционный высокотемпературный провод GTACSR, который является разработкой компании J-Power Systems, Япония.

**Вариант II** – провода серии TACSR разработка компании Lumpi-Berndorf, Австрия.

**Вариант III** – провода на основе композиционного материала ACCR, который является разработкой американской компании 3M.

Для сравнения предложенных типов проводов за основу был принят традиционный провод марки AC. Замена существующих проводов на термостойкие с малым провесом позволяет существенно повысить термический предел провода при той же массе и природных условиях. Продолжительная работа при температуре до 200 °С, без изменения механических и электрофизических свойств, позволяет повысить пропускную способность ВЛЭП-110 кВ по нагреву примерно на 40 %.

Согласно действующим нормативным документам по сооружению ВЛЭП, для определения нормативных нагрузок следует принимать наиболее неблагоприятные сочетания природных условий, которые наблюдаются не реже 1 раза в 10 лет для ВЛЭП-110 кВ. Согласно ПУЭ, расчет проводов, тросов, изоляторов и арматуры воздушных линий производится по методу допустимых напряжений. В расчетах по этому методу принимаются нагрузки, соответствующие условиям эксплуатации линий, которые называют нормативными.

Для обеспечения надежной работы ВЛЭП-110 кВ в расчетах конструкций необходимо учитывать скорость ветра, температуру окружающей среды, интенсивность солнечной радиации в зоне сооружения линий. Для механического расчета провода выбран участок проектируемой ВЛЭП напряжением 110 кВ длиной 11,4 км от ГЭС-24 до подстанции «Ленинабадская», которая относится к III климатическому району по скорости ветра (ПУЭ-6). Исходные данные для расчета механических нагрузок принимаются: период повторяемости расчетных климатических нагрузок  $t = 25$  лет, нормативное ветровое давление – 706 Н/м<sup>2</sup>, нормативная скорость ветра – 16 м/с. Расчет ВЛЭП-110 кВ по нормальному режиму работы производился для сочетания следующих условий (ПУЭ-6): высшая температура, ветер отсутствует; низшая температура, ветер отсутствует;

среднегодовая температура и средняя скорость ветра; среднегодовая температура без ветра; ветер с расчетной ветровой нагрузкой на проводе; температура воздуха при нормативном ветровом давлении. Приняты значения температур: низшая температура  $t_c = -25^\circ\text{C}$ , среднегодовая температура  $t_s = +17^\circ\text{C}$ , высшая температура  $t_e = +45^\circ\text{C}$ , температура воздуха при нормативном ветровом давлении  $t = 0^\circ\text{C}$ .

Для расчета прогнозируемых механических нагрузок на провода ВЛЭП при допустимых сочетаниях природно-климатических нагрузок в нормальных условиях эксплуатации ВЛЭП с помощью приложения Matlab Simulink составлена модель и программа расчёта, которая позволяет определить графические зависимости тяжений проводов и стрел провеса при воздействии различных природно-климатических факторов.

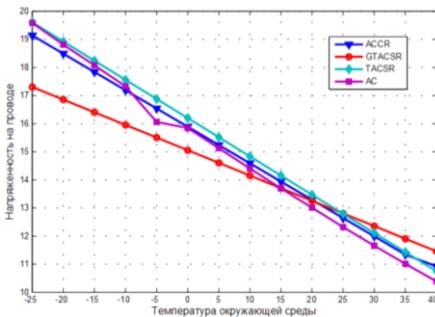
Для каждого варианта проводов ВЛЭП-110 кВ были определены стрелы провеса из выражения (4), результаты которого сведены в таблицу 1.

$$f_t = \frac{\gamma_1 \cdot (l_{расч})^2}{8 \cdot \sigma_t}. \quad (4)$$

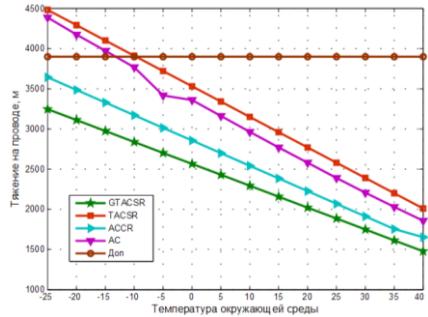
Таблица 1 – Стрелы провеса проводов по вариантам при температуре  $+20^\circ\text{C}$ , без ветра и гололеда

Вариант проводов	GTACSR	TACSR	ACCR	AC
Стрела провеса, $f_t$ , м	1,26	1,14	1,23	1,33

Тяжения  $H_v$ ,  $V_v$ ,  $T_v$ , возникающие в проводах без отложений, изменения стрел провеса, напряженность на проводе, при изменении температуры окружающей среды  $t = 0, 10, 20, 25, 30, 40, 45^\circ\text{C}$  постоянной скорости ветра  $\vartheta = 0$  м/с приведены на рисунке 5.



А



Б

Рисунок 5 – Напряженность на проводе (а); тяжение на проводе в зависимости от температуры окружающей среды (б)

Как видно из рисунка 5, напряженность у всех проводов линейно уменьшается с увеличением температуры. В диапазоне температур от  $-25$  до

+40 °С уменьшение в среднем составляет в 1,58 раза. Характерной для всех проводов является температура +15 °С, при которой кривые пересекают допустимое напряжение. Напряженность на проводе GTACSR при температуре –25 °С на 10 % меньше, чем у провода АС, а при максимальной температуре 40 °С на 10,3 % больше, чем у провода АС. Отличительной особенностью проводов GTACSR является меньший коэффициент температурной зависимости, что обусловлено наличием зазора между токопроводящими жилами и композиционным сердечником. Напряженность на проводах TACSR, ACCR, АС при минимальной температуре имеет одинаковые значения, но при максимальных температурах на 10,3 % больше, чем у проводов АС. Напряженность на проводах типа TACSR и ACCR в 1,4 раза больше, чем допустимые при минимальных температурах, при максимальных температурах в 1,3 раза меньше допустимого значения.

Отличительной особенностью высокотемпературных проводов является то, что при максимальных температурах они имеют большую напряженность, чем у традиционных проводов, следовательно, стрела провеса будет меньше, чем у провода АС. Для расчета и построения зависимостей стрел провеса и тяжений от различных природно-климатических нагрузок составлен программный модуль в программе Matlab Simulink. Как видно из графиков (рисунок 5, а, б), зависимость полных тяжений от температуры на проводах в основном обусловлена механическими свойствами проводниковых материалов. В диапазоне температур от –25 °С до –10 °С для проводов марки TACSR и АС тяжение превышает допустимое значение, а для проводов марки GTACSR и ACCR во всем диапазоне температур тяжение меньше допустимого значения. Из расчетных данных следует, что провод марки TACSR при максимальных температурах имеет наибольшее значение тяжения, поэтому стрела провеса таких проводов при максимальных температурах будет наименьшей. Следовательно, на наш взгляд, влияние температуры на обеспечение надежности ВЛЭП провод TACSR является оптимальным.

Изменение стрелы провеса проводов в зависимости от температуры окружающей среды представлен на рисунке 6.

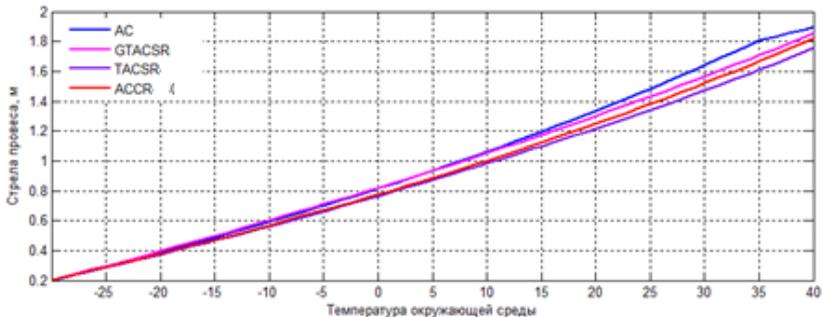


Рисунок 6 – Изменение стрелы провеса проводов в зависимости от температуры окружающей среды

Как видно из графика, при максимальной температуре всех марок проводов по сравнению с АС стрела провеса меньше, при минимальных температурах больше, чем у провода АС. Следует отметить, что при максимальных температурах стрела провеса у всех марок проводов значительно меньше критического значения.

Значение изменения стрелы провеса в зависимости от скорости ветра для проводов марки GTACSR, TACSR и АС одинаковые, но для провода марки ACCR при максимальной скорости ветра изменение стрелы провеса на 11% меньше, чем у провода АС. При максимальном значении скорости ветра значение изменения стрелы провеса меньше допустимого. Графики изменения тяжений и стрел провеса при изменении скорости ветра при фиксированной температуре воздуха  $t_r = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  представлены на рисунках 7 и 8 соответственно.

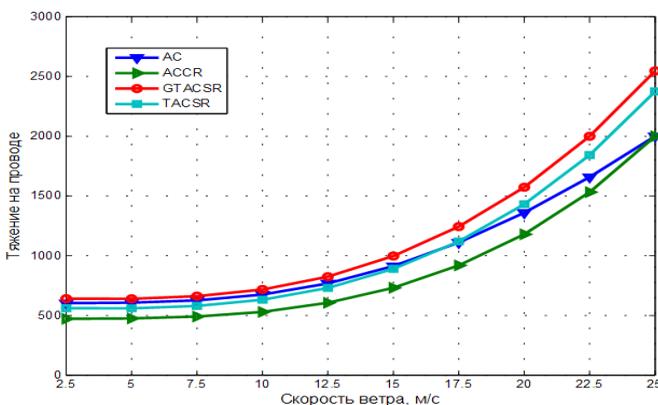


Рисунок 7 – Зависимость тяжения проводов в зависимости от скорости ветра

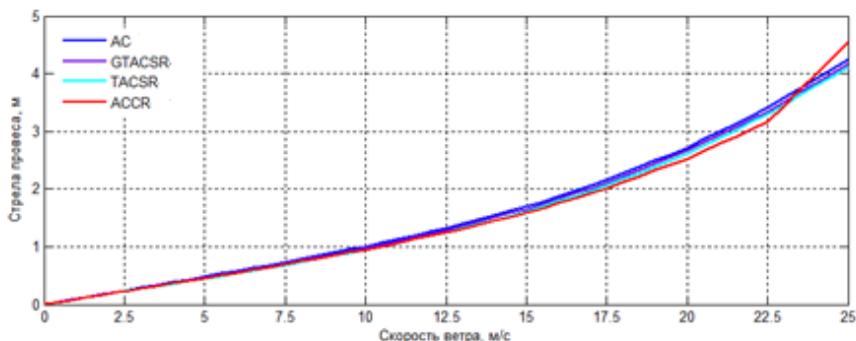


Рисунок 8 – Изменение стрелы провеса проводов в зависимости от изменения скорости ветра

Из вышеприведенных графиков и выполненных расчетов следует, что ветровая нагрузка на провод без отложений гололеда не представляет собой опасности, поэтому даже при достижении скорости ветра до 25 м/с тяжение на проводе не превышает критических значений, габаритные размеры линий находятся в допустимых пределах.

Основным показателем нормального функционирования ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата является передача электроэнергии с минимальными потерями. Эффективность функционирования ВЛЭП-110 кВ характеризуется двумя показателями:

- пропускной способностью по расчётному току  $I_{\text{проп}}$ ;
- электроэнергетическим коэффициентом  $k_{\text{энер}}$ .

Нагрузочные потери в линиях электропередачи (рисунок 9) зависят от поперечного сечения провода, протяженности линии, длительно допустимого тока и природно-климатических условий:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3I_{\text{расч}}^2 \cdot R_t = 3I_{\text{расч}}^2 \cdot R_0^{20} (1 + \alpha(t - 20)) = 3I_{\text{расч}}^2 \frac{\rho l}{F}, \quad (5)$$

где  $R_t$  – удельное активное сопротивление, Ом/км;  $\alpha$  – температурный коэффициент, который зависит от электрического сопротивления ( $\alpha = 0,00403$  для композиционных и сталеалюминевых проводов;  $\alpha = 0,00455$  для стальных).

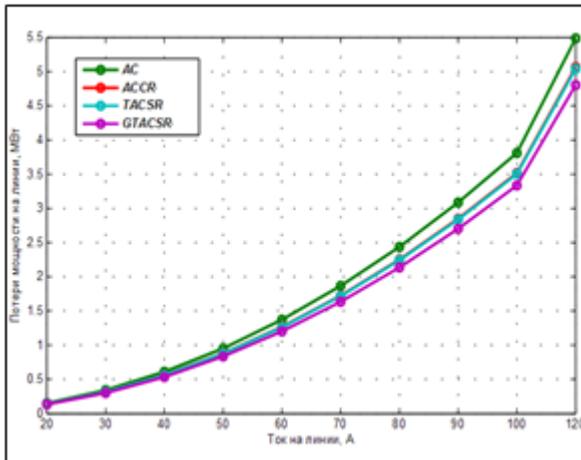


Рисунок 9 – Зависимость нагрузочных потерь на ВЛЭП-110 кВ

Увеличение токовой нагрузки проводов обуславливает нагрев проводникового материала и увеличение потери мощности, следовательно, уменьшается проводимость линии. Потери активной мощности за счёт нагрева увеличивают себестоимость транспортировки электроэнергии. Электрические потери на корону зависят от напряженности электрического поля, климатических условий и напряжения сети. Поэтому энергетический коэффициент является функцией следующих величин:  $k_{\text{энер}} = f(I_{\text{нагр}}; l; \alpha$

;  $\rho; F$ ) при соблюдении ограничений по условиям короны  $E \leq E_{\max}$  (напряженность электрического поля) и плотности тока  $j = \leq 2,1$ . Энергетический коэффициент зависит от природно-климатических условий: дождь, туман, изморозь, иней и т.д.

Наименьшее расстояние провода до земли определяется из выражения:

$$h_{\text{гор}} = h_{\text{п}} - f_{\text{max}}, \quad (6)$$

где  $h_{\text{п}}$  – высота подвеса проводника;  $f_{\text{max}}$  – максимальная стрела провеса провода ВЛЭП.

Уравнение состояния провода при постоянной токовой нагрузке основано на равенстве результирующей деформации провода и изменения длины линии в относительных единицах:

$$\Delta L = \frac{\gamma_4^2 \cdot l^2}{24\sigma^2} - \frac{\gamma_0^2 \cdot l^2}{24\sigma_0^2} = \alpha(t_{\text{деф}} - t_{\text{м}}) + \frac{\sigma - \sigma_0}{F_{\text{п}} E_{\text{п}}}, \quad (7)$$

где  $\alpha(t_{\text{деф}} - t_{\text{м}})$  – температурная деформация провода при изменении температуры от исходного состояния до заданной температуры,  $\text{мм}^2/\text{м}$ ;  $\alpha$  – температурный коэффициент удлинения проводникового материала,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\frac{\sigma - \sigma_0}{F_{\text{п}} E_{\text{п}}}$  – изменение относительной упругой деформации провода, при изменении полного тяжения,  $F_{\text{п}}$  – поперечное сечение провода,  $\text{мм}^2$ ;  $E_{\text{п}}$  – модуль упругости провода,  $\text{Н}/\text{мм}^2$ .

Предельная токовая нагрузка определяется при сохранении допустимых вертикальных расстояний между землей и проводом и является функцией следующих величин:

$$I_{\text{доп}} = f(L, h_{\text{опор}}, F_{\text{п}}, t_{\text{н}}, \vartheta, \varepsilon, \alpha) \text{ при } f_x < f_{\text{доп}}; \sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{хр}}, \quad (8)$$

где  $h_{\text{опор}}$  – высота опоры, м;  $t_{\text{н}}$  – температура провода,  $^\circ\text{C}$ ;  $\vartheta$  – скорость ветра, м/с.

Изменение стрелы провеса провода при максимально допустимой токовой нагрузке с учётом изменения температуры окружающей среды имеет следующий вид (рисунок 10): при максимальных нагрузках стрела провеса при воздействии силы ветра наиболее подвержена авариям, чем при воздействии температуры окружающей среды.

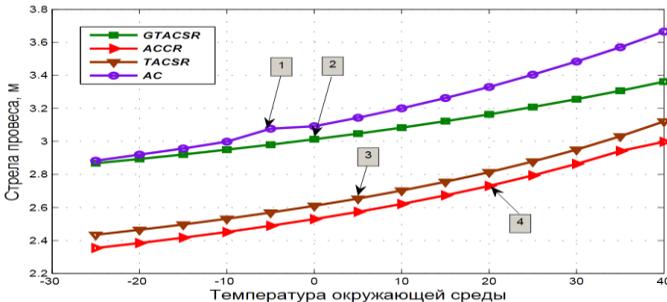


Рисунок 10 – Изменение стрелы провеса проводов в зависимости от температуры окружающей среды при максимальной нагрузке

Как видно из рисунка 10, при максимальных токовых нагрузках увеличивается «пляска» проводов, которая в отдельных случаях сопровождается обрывом проводникового материала. Такие случаи в Согдийской энергосистеме наблюдались зимой в 2011 и 2017 гг., что привело к каскадному развитию аварий. Для трех разработанных вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ определим уровень надежности. Для всех выбранных вариантов ВЛЭП-110 кВ принимаем срок службы 50 лет. Надежность проектных нагрузок определяется из выражения:

$$P_{\text{проект}} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^m = \left(1 - \frac{1}{50}\right)^{50}. \quad (9)$$

Вероятность безотказного функционирования объекта в течение года определяется из выражения:

$$P_{\text{эксп}} = e^{-\omega}. \quad (10)$$

Параметр потока отказов для всех вариантов принят согласно нормативным документам (СИГРЭ) в зависимости от типа проводов, а коэффициент запаса эксплуатационной прочности рассчитан согласно вышеприведенной формуле.

Критерии надежности для всех вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата определяются из выражения:

$$N_{\text{комп}} = \frac{P_{\text{проект}} \cdot P_{\text{эксп}} \cdot k_3}{3}. \quad (11)$$

Матрица критериев надежности для всех вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица критериев надежности для всех вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ

Вариант реконструкции ВЛЭП-110 кВ	$q_1 = P_{\text{проект}}$ относ. ед	$q_2 = P_{\text{эксп.}}$ относ. Ед	$q_3 = k_3$	Комплексный показатель надежности, $N_{\text{комплекс}}$
1	0,364	0,992032	11,65	1,40227
2	0,364	0,99104	11,86	1,42612
3	0,364	0,99104	10,81	1,299861
4	0,364	0,99005	9,71	1,166424

Как видно из таблицы 2, наибольший показатель надежности имеет второй вариант реконструкции ВЛЭП-110 кВ. Анализ результатов ожидаемых механических нагрузок при воздействии природных факторов показал, что все рассмотренные варианты реконструкции ВЛЭП-110 кВ удовлетворяют заданной степени надежности.

**В четвертой главе** произведено технико-экономическое обоснование проектов реконструкции ВЛЭП-110 кВ. Для определения оптимального варианта необходимо решить многокритериальную задачу. Алгоритм решения многокритериальной задачи оптимизации на примере выбора оптимального варианта реконструкции ВЛЭП-110 кВ с учётом природно-климатических факторов приведен на рисунке 11.

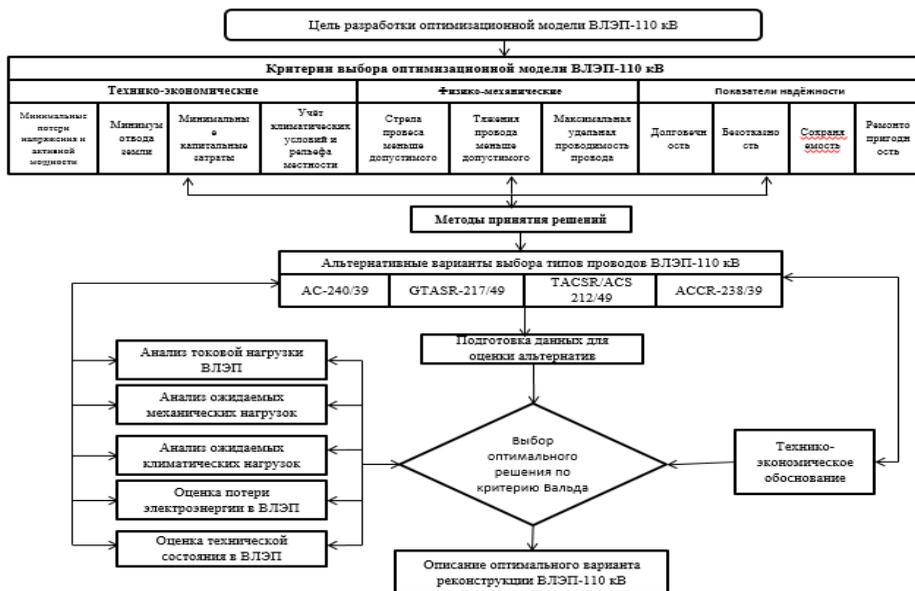


Рисунок 11 – Блок-схема разработанного алгоритма выбора вариантов ВЛЭП-110 кВ

Приведенный анализ показал, что чистый дисконтированный доход во всех проектах больше нуля, индекс доходности больше единицы, все варианты являются экономически эффективными. Для выбора оптимального варианта реконструкции ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата разработан алгоритм решения многокритериальной задачи. При этом оптимальный вариант устанавливается по критерию Вальда. Оценка экономической эффективности рассчитана по чистому дисконтированному доходу, приведенным годовым затратам, системному эффекту, индексу доходности и рентабельности (таблица 3).

Таблица 3 – Экономические показатели вариантов реконструкции ВЛЭП-110 кВ

Показатель	Ед. изм.	Вариант			
		I	II	III	IV
Чистый дисконтированный доход	млн. руб.	216,9	221,18	204,76	210,92
Приведенные годовые затраты	млн.руб./год	13,78	10,415	16,53	11,67
Индекс доходности		4,93	5,52	4,09	4,43
Рентабельность	%	15,2	16,4	12,6	18,1
Системный эффект	млн. руб.	6,096	5,67	7,22	5,094

Предпочтительным оказался второй вариант (провод марки TACSR, опоры ММО, длина пролёта 200 м).

Таким образом, при выборе оптимального варианта реконструкции ВЛЭП-110 кВ следует отдать предпочтение второму варианту, т.е. останавливаемся на опорах типа ММО и высокотемпературном проводе марки TACSR.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. В результате проведенного теоретического анализа и статистической обработки причин отказов ВЛЭП-110 кВ установлено, что более 78% аварийных отключений обусловлены влиянием природно-климатических и эксплуатационных воздействий, которые зависят от условий эксплуатации, качественного проведения планово-предупредительных ремонтов, квалификации технического персонала и др.

2. Установлено, что отказы ВЛЭП-110 кВ в 4,13 раза превышают нормативные значения согласно стандарту ГОСТ 27.002-89. Решение уравнения множественной регрессии позволило определить коэффициенты, характеризующие степень влияния отдельных факторов окружающей среды на отказы.

3. Для повышения надежности ВЛЭП-110 кВ разработаны критерии надежности с учётом влияния природных факторов, которые представляют собой комплексный показатель и характеризуют надежность на стадии проектирования, эксплуатации и учитывают физико-механическую прочность проводов.

4. На основе сравнения физико-механических свойств высокотемпературных композиционных проводов (GTACSR, TACSR, ACCR) разработан оптимальный вариант реконструкции ВЛЭП-110 кВ, который заключается в применении многогранных металлических опор типа ММО (производство «Муромэнергомаш», Российская Федерация), птицевозащитных полимерных изоляторов типа ЛКП (производство ООО «Инста», Российская Федерация).

5. Для выбранных вариантов проводов рассчитаны стрелы провеса и тяжение в зависимости от температуры окружающей среды и скорости ветра. Результаты расчётов были сравнены с традиционным проводом марки АС.

6. Для выбора оптимального варианта реконструкции ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата разработан алгоритм решения многокритериальной задачи. При этом оптимальный вариант устанавливается по критерию Вальда.

7. Оценка экономической эффективности рассчитана по чистому дисконтированному доходу, приведенным годовым затратам, системному эффекту, индексу доходности и рентабельности. Предпочтительным оказался второй вариант (провод марки TACSR, опоры ММО, длина пролёта 200 м). Системный эффект от внедрении проекта составляет 5,67 млн. руб.

## **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

### **В изданиях из перечня ВАК:**

1. Тошходжаева, М. И. Перспективы применения композиционных проводов в условиях резко континентального климата / М. И. Тошходжаева, А. А. Ходжиев // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 1. – С. 91–97.
2. Тошходжаева, М. И. Анализ повреждений воздушных линий электропередач 35-220 кВ на примере Согдийской электрической сети / М. И. Тошходжаева // Вестник Чувашского университета. Технические науки. – 2016. – № 1. – С. 105–111.

### **Публикации в других изданиях:**

3. Тошходжаева, М. И. Сравнительный анализ механических свойств традиционных и высокотемпературных проводов ВЛЭП-110 кВ / М.И. Тошходжаева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 3. – С. 169–175.
4. Тошходжаева, М. И. Повышение надёжности ВЛЭП-110 кВ на стадии проектирования и эксплуатации / М. И. Тошходжаева, О. С. Рахимов, А. А. Ходжиев // Электрообрудование: эксплуатация и ремонт. – 2017. – № 3. – С. 47–49.
5. Тошходжаева, М. И. Применение высокотемпературных композиционных проводов в условиях резко континентального климата / М. И. Тошходжаева // Вестник ПИТГУ имени академика М. Осими. Научно-технический журнал. – 2017. – № 1(2). – С. 30–35.
6. Тошходжаева, М. И. Влияние солнечной радиации на надёжность воздушных ЛЭП напряжением 110 кВ (на примере Согдийских электрических сетей РТ) / М.И. Тошходжаева, В.А. Щедрин. // Вестник ПИТГУ имени академика М. Осими. Научно-технический журнал. – 2016. – № 1(1). – С. 97–100.
7. Тошходжаева, М. И. Анализ состояния надёжности воздушных линий электропередач напряжением 35-220 кВ Согдийских электрических сетей Республики Таджикистан / М. И. Тошходжаева // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики (Материалы XII Республ. науч.-техн. конф. молодых специалистов (г. Чебоксары, 2015)). – 2015. – С. 6–9.
8. Тошходжаева, М. И. Повышение надёжности системы электроснабжения как фактор устойчивого обеспечения народного хозяйства электроэнергией (на примере г. Худжанда РТ) / М.И. Тошходжаева // Вестник ТГУПБП. Серия общественных наук. – 2015. – № 3(3). – С. 71–77.
9. Тошходжаева, М. И. Влияние природных факторов на элементы воздушных линий электропередач напряжением 110 кВ (на примере Согдийской области) / М.И. Тошходжаева, А.А. Ходжиев // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Выпуск XII. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – С. 100–104.
10. Тошходжаева, М. И. Факторы, влияющие на надёжность воздушных линий электропередач в условиях высокогорья / М. И. Тошходжаева, О. С.

Рахимов // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: Межвузов. сб. науч. тр. (с международным участием). – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 558–561.

11. Тошходжаева, М. И. Анализ надёжности ЛЭП-110 кВ Согдийских электрических сетей / М.И. Тошходжаева // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Выпуск 11. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. – С. 66–70.

12. Тошходжаева, М. И. Оценка влияния климатических факторов на функционирование ВЛЭП-110 кВ (на примере Согдийской области) / М. И. Тошходжаева, В.А. Щедрин // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энерго-эффективности: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. (г. Чебоксары, 2017 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – С. 252–257.

13. Тошходжаева, М. И. Показатели надёжности ВЛЭП-110 кВ Согдийской энергосистемы / М. И. Тошходжаева, О. С. Рахимов, А. А. Ходжиев // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: Сб. науч. тр. III Междунар (IV всерос.) науч.-практ. конф. (г. Уфа, 26–27 апреля 2017 г.). – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. – С. 190–192.

14. Тошходжаева, М. И. Обеспечение надёжности ВЛЭП-110 кВ с учётом природных факторов / М. И. Тошходжаева // Перспективы развития науки и образования: Материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан (г. Душанбе, 3–4 ноября 2016 г.). – 2016. Душанбе – С. 114–116.

15. Тошходжаева, М. И. Надёжность систем электроснабжения как экономический показатель / М. И. Тошходжаева // Новое слово в науке: перспективы развития: Сборник материалов VI Междунар. научно-практ. конф. (г. Чебоксары, 20 ноября 2015 г.). – Чебоксары: ЦНС «Интерактив Плюс», 2015. – № 4(6). – С. 176–178.

16. Тошходжаева, М. И. Анализ влияния климатических факторов на надёжность линий электропередач напряжением 35-220 кВ энергосистемы Согдийской области / М. И. Тошходжаева, М.С. Джалолов, Ф.М. Разоков // Вода для жизни: Материалы Междунар. науч.-практ. конференции (г. Чкалов, 24 апреля 2015 г.). – 2015. Чкаловск – С. 155–161.

17. Тошходжаева, М. И. Влияние климатических факторов на надёжность линий электропередач напряжением 35-220 кВ Согдийской энергосистемы / М.И. Тошходжаева, А. А. Ходжиев // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ-2018): Материалы XI Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. – С. 361–366.

18. Тошходжаева, М. И. Применение высокотемпературных проводов в условиях резко континентального климата / М. И. Тошходжаева, А. А. Ходжиев // Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность: материалы Респуб. науч.-практ. конф. (г. Душанбе, 24 декабря 2016 г.). – Душанбе: Промэкспо, 2016. – С. 150–154.

**ТОШХОДЖАЕВА Мухайё Исломовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ  
НАДЁЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ВЛЭП-110 КВ  
В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Подписано в печать \_\_. \_\_ 2018. Формат 60×84 1/16. Печ. л. 1,5.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_.

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»  
428015 Чебоксары, Московский проспект, д. 15