

На правах рукописи



Елизарьев Артем Юрьевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК**

05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2017

Работа выполнена на кафедре электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Исмагилов Флюр Рашитович

Официальные оппоненты: **Соловьев Вячеслав Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический университет»
(г. Комсомольск-на-Амуре), заведующий
кафедрой «Электропривод и автоматизация
промышленных установок».

Щуров Артём Николаевич, кандидат
технических наук, федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-Российский
государственный политехнический университет
(НПИ) имени М. И. Платова» (г. Новочеркасск),
доцент кафедры «Электрические станции и
электроэнергетические системы».

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Казанский государственный
энергетический университет»

Защита состоится «15» ноября 2017 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 212.269.10 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Усова, 7, ауд.217.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/2800/worklist>.

Автореферат разослан «___» сентября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. В. Кабышев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Большая доля устойчивых отключений воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) происходит из-за климатических воздействий: грозových перенапряжений, гололедных и ветровых нагрузок, паводков, наводнений и т.п., причем наиболее тяжелые последствия от технологических нарушений на ВЛЭП связаны с повышенными гололедными, ветровыми нагрузками и их совместным действием.

В последние годы в разных регионах Российской Федерации от Дальнего Востока до юго-западных и северо-западных районов, а также за рубежом произошли многочисленные аварии в электросетях вызванные воздействием ледяных дождей и интенсивных гололедно-ветровых нагрузок.

Гололедно-изморозевые отложения на проводах являются одними из основных внешних механических нагрузок, оказывающих существенное воздействие на ВЛЭП и, следовательно, влияющих на их технико-экономические показатели. Так, в зависимости от значений толщины стенки гололеда стоимость строительства и эксплуатации ВЛЭП может возрасти в несколько раз. С другой стороны, недоучет нагрузок приведет к снижению надежности ВЛЭП в ходе ее эксплуатации, что неизбежно вызовет перебои и срывы в их функционировании и, как следствие, увеличение затрат на ремонт и восстановительные работы.

Наиболее распространенными видами колебаний проводов ВЛЭП являются вибрация и пляска под воздействием ветра. Проблема пляски проводов и защиты ВЛЭП от ее опасных последствий является одним из важнейших вопросов проектирования, строительства и эксплуатации ВЛЭП. Эти вопросы начиная с 1954 г. находят отражение в ПУЭ, гл. 2.5, раздел «Расположение проводов и тросов и расстояние между ними», а также в «Методических указаниях по районированию территории энергосистем и трасс ВЛ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов», выпущенных в 1993 г. Согласно ПУЭ-7 для ВЛЭП, проходящих в районах с толщиной стенки гололеда 25 мм и более, а также с частыми образованиями гололеда или изморози в сочетании с сильными ветрами и в районах с частой и интенсивной пляской проводов, рекомендуется предусматривать плавку гололеда на проводах и тросах. На ВЛ с плавкой гололеда должно быть организовано наблюдение за гололедом, при этом предпочтительно применение сигнализаторов появления гололеда и устройств контроля окончания плавки гололеда.

Существует достаточно большое количество комплексов плавки гололеда, определяемых схемой электрической сети, нагрузкой потребителей, возможностью отключения линий и другими факторами. Однако с учетом статистических данных аварийных событий в электрических сетях, актуальной проблемой, ограничивающей надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей электрической энергией, является отсутствие на практике оптимального комплекса по борьбе с гололедом, включающего в себя системы мониторинга гололеда и его плавки.

Идея работы заключается в разработке перспективных технических решений по обеспечению качественного и надежного электроснабжения потребителей во время гололедообразования на проводах ВЛ.

Степень разработанности темы

Значительный вклад в изучение проблемы борьбы с гололедными явлениями на проводах ВЛ внесли такие ученые и специалисты, как Бургсдорф В. В., Гузаиров М. Б., Рудакова Р. М., Вавилова И. В., Левченко И. И., Минуллин Р. Г. и др.

Развитию теории и практики средств борьбы с гололедом на ВЛ уделяли внимание Бучинский В. Е., Руднева А. В., Максимов В. А., Крылов С. В., Минуллин Р. Г., Аскарлов Р. Р., Коган Ф. Л., Каверина Р. С., Балыбердин Л. Л., Никитина Л. Г., Никонец Л. А., Хрущ П. Р., Сацук Е. И., Ловецкая Е. Н., Савваитов Д. С., Шкапцов В. А., Пустыльников Л. Д., Морошкин Ю. В., Скопинцев В. А., Васин В. П., Федоров Ю. Г., Цхяев А. Д., Нубарьян А. В., Dr. Masoud Farzaneh, Pierre Admirat, William A. Chisholm.

Большинство работ в данной области относятся к методам борьбы с гололедом посредством плавки. При этом на время проведения плавки производится вывод ВЛ из работы, что может привести к перерывам электроснабжения потребителей. На сегодняшний день процессы плавки гололеда без отключения потребителей недостаточно изучены. В области мониторинга за гололедообразованием на ВЛ имеются лишь исследования, посвященные определению массы гололеда на отдельных участках, и не рассматриваются вопросы контроля гололедообразования в объеме энергосистемы. Поэтому необходимо проведение полноценного комплексного исследования, посвященного изучению процессов плавки гололеда без отключения потребителей и разработке системы мониторинга с контролем гололедообразования по энергосистеме в целом, что и определяет актуальность темы диссертационной работы.

Цель работы: разработка электротехнических систем, направленных на повышение качества и надежности электроснабжения потребителей в условиях воздействия гололедно-ветровых нагрузок, их апробация, анализ эффективности и внедрения в электроэнергетических системах.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**.

1. Исследования по районированию территории РБ по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов.

2. Разработка систем плавки гололеда без отключения потребителей с расчетом экономической эффективности внедрения.

3. Имитационное и экспериментальное исследование систем плавки гололеда без отключения потребителей.

4. Разработка, исследование и опытное испытание автоматизированной системы мониторинга гололедно-ветровых нагрузок на проводах и грозозащитных тросах действующих ВЛ с расчетом экономической эффективности внедрения.

Научная новизна:

1. Анализ аварийных отключений ВЛ в сетях 35–220 кВ ООО «Башкирэнерго» и разработанные карты районирования Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов с учетом измененных климатических нагрузок, позволяющие разрабатывать компоненты комплексов по борьбе с гололедом для повышения надежности воздушных линий с учетом актуальных климатических нагрузок.

2. Схема соединения оборудования распределительных устройств (РУ) подстанций (ПС) и ВЛЭП в составе системы плавки гололеда посредством наложения постоянного тока на переменный, позволяющая плавить гололед без отключения потребителей. Данная схема исключает протекание постоянного тока плавки гололеда через силовые трансформаторы во время проведения плавки, а также позволяет увеличить зону охвата плавки гололеда, увеличить надежность работы энергосистем в режимах гололедно-ветровых воздействий и снизить риск ошибки оперативного персонала.

3. Результаты численных экспериментов, выполненных на разработанной компьютерной имитационной модели предложенной схемы соединения оборудования РУ ПС и ВЛЭП. На основании проведенного экспериментального исследования доказана адекватность разработанной модели.

4. Система контроля гололедно-ветровых нагрузок, позволяющая повысить оперативность контроля гололедно-ветровых нагрузок на проводах и грозозащитных тросах ВЛ, качество принимаемых оперативным персоналом решений и уменьшить число ошибок при управлении режимом работы энергосистемы на основании данных, полученных от системы, снизить затраты на обслуживание и капитальный ремонт энергетического оборудования.

5. Комплексная система контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи, включающая взаимодополняющие локационные и весовые системы контроля гололедной нагрузки, повышающая достоверность измерения и передачи значений гололедных и ветровых нагрузок. Предложена карта расстановки локационных систем в сетях 110 кВ для обеспечения наблюдаемости ВЛ в гололедоопасных районах РБ. В рамках комплексной системы контроля гололедообразования предложен метод организации опроса СКГН по сигналу о начале гололедообразования, полученному от локационного зондирования, позволяющий увеличить надежность функционирования системы и снизить капитальные вложения за счет уменьшения энергопотребления.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методологии плавки и мониторинга гололедообразования.

Практическая значимость работы:

1. Карта районирования территории РБ по толщине стенки гололеда, карта районирования территории РБ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов для применения комплексов борьбы с гололедом в соответствии с существующими климатическими нагрузками.

2. Системы плавки гололеда без отключения потребителя посредством наложения постоянного тока на переменный для бесперебойного электроснабжения потребителей во время плавки гололеда.

3. Компьютерная имитационная модель, позволяющая выполнять моделирование работы системы плавки гололеда.

4. Система мониторинга за гололедообразованием на проводах ВЛ, позволяющая своевременно проводить мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей во время гололедообразования. Карта-схема расстановки локационных систем в сетях 110 кВ для обеспечения наблюдаемости ВЛ в гололедоопасных районах РБ.

Личный вклад автора

Анализ аварийных отключений, составление достоверной базы данных эксплуатации ВЛ на территории Республики Башкортостан, разработка карт климатического районирования территории Республики Башкортостан. Постановка задач, разработка теоретических и методических положений, математических методов, проведение исследований, анализ и обобщение результатов при разработке и исследовании системы плавки гололеда наложением постоянного тока на переменный. Разработка системы мониторинга гололедообразования, определение пунктов установки системы мониторинга, обобщение результатов эксплуатации системы мониторинга, разработка комплексной системы мониторинга и карты-схемы установки данных систем.

Методология диссертационного исследования

Методологической и теоретической основой диссертационного исследования послужили научные работы отечественных и зарубежных ученых в области исследования гололедообразования и методов борьбы с ним.

Методы диссертационного исследования

Для решения задач и достижения поставленной цели исследования методов борьбы с гололедом использованы аналитические методы, теория дифференциального и интегрального исчисления, математическое моделирование с применением пакета Matlab с встроенными модулями Simulink и Simpowersys. Обработка данных компьютерного моделирования, результатов измерений и экспериментов, производилась в пакете Matlab.

Теоретические положения и выводы подтверждены результатами экспериментальных исследований и измерений на экспериментальном стенде и действующем электротехническом оборудовании. Исследования проводились на кафедре электромеханики УГАТУ и действующем оборудовании ООО «Башкирэнерго».

Положения, выносимые на защиту:

1. Карта районирования территории РБ по толщине стенки гололеда.
2. Карта районирования территории РБ по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов.
3. Система плавки гололеда без отключения потребителей посредством наложения постоянного тока на переменный.

4. Компьютерная имитационная модель, позволяющая проводить моделирование работы системы плавки гололеда.

5. Результаты моделирования и экспериментальных исследований системы плавки гололеда.

6. Системы мониторинга гололедообразования на проводах ВЛ и рекомендации по их внедрению.

Степень достоверности результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата, подтверждается их совпадением с экспериментальными данными, а также результатами опыта эксплуатации внедренных устройств в электрических сетях.

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VII Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи-2016» (Казань, 2016 г.), международной научно-практической конференции «Вопросы надежности работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок» (Уфа, 2016 г.), международной научно-практической конференции «Гололедно-ветровые явления на ВЛ» (Уфа, 2014 г.), всероссийской научно-практической конференции «Гололедно-ветровые явления на ВЛ – пути решения» (Уфа, 2012 г.), международной научно-практической конференции «Energy Quest» (Екатеринбург, 2014 г.), II международной научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования в техническом вузе» (Стерлитамак, 2015 г.), IV слете молодых энергетиков Башкортостана (Уфа, 2010 г.), а также на заседаниях технического совета ООО «Башкирэнерго».

Работа отмечена тремя дипломами первой степени и дипломом за лучшее выступление.

Содержание диссертационной работы нашло отражение в 15 работах, в числе которых 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, статья в издании, индексируемом в базе данных SCOPUS, патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 100 наименований, семи приложений. Общий объем работы составляет 184 страницы, в том числе 117 страниц основного текста, 80 рисунков, 36 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, отражена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, дана общая характеристика работы.

В первой главе представлен состав комплексов по борьбе с гололедообразованием на ВЛЭП и карта районирования территории Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда (2006 г.). Основным техническим мероприятием по борьбе с гололедом является плавка гололеда

переменным и постоянным током, при этом обязательное требование – достоверное районирование территории по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов. Проанализированы системы удаления гололеда с проводов ВЛ: плавка постоянным, переменным и высокочастотным током, механические и прочие способы удаления льда. Указаны преимущества и недостатки каждого метода удаления гололеда. Наиболее эффективными методами борьбы с гололедом являются плавка переменным или постоянным током, но общий существенный недостаток плавки гололеда – необходимость отключения потребителя на время осуществления плавки. Это может быть недопустимо для потребителей I категории или по режиму работы сети. В связи с этим, учитывая необходимость обеспечения непрерывности электроснабжения потребителей электроэнергии, в том числе и в гололедоопасный период, представлен анализ существующих режимов плавки гололеда без отключения потребителей. Показано, что существующие схемы плавки гололеда без отключения потребителей не получили широкого распространения, так как ток плавки, зависящий от режима энергосистемы, и необходимые схемно-режимные мероприятия, с помощью которых он достигается, нельзя однозначно определить заранее.

Надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей возможно лишь при внедрении эффективных мероприятий по мониторингу ВЛ электропередачи в осенне-зимний период для предотвращения гололедных аварий. Представлен анализ имеющихся разработок систем мониторинга за гололедообразованием. Недостатками описанных выше систем являются точечная установка систем контроля по длине линии, необходимость применения специализированного ПО, значительная стоимость.

Проведенный анализ позволил определить основные задачи, решение которых обеспечит экономичную и надежную транспортировку электроэнергии по ВЛ в условиях гололедно-изморозевых отложений в необходимом для потребителей количестве и требуемого качества.

Во второй главе выполнены исследования по районированию территории РБ по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов.

Мягкие климатические условия в зимнее время являются причиной обильного гололедообразования на линиях электропередачи Республики Башкортостан, что подтверждает многолетняя статистика аварийных отключений ВЛ 35–220 кВ ООО «Башкирэнерго» (рисунок 1). Прогрессирующая статистика гололедных отключений указывает на недостаточную эффективность применяемых электросетевыми компаниями методов борьбы с гололедом. Определение расчетных климатических условий для проектирования и эксплуатации линий должно проводиться на основании карт районирования по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов.

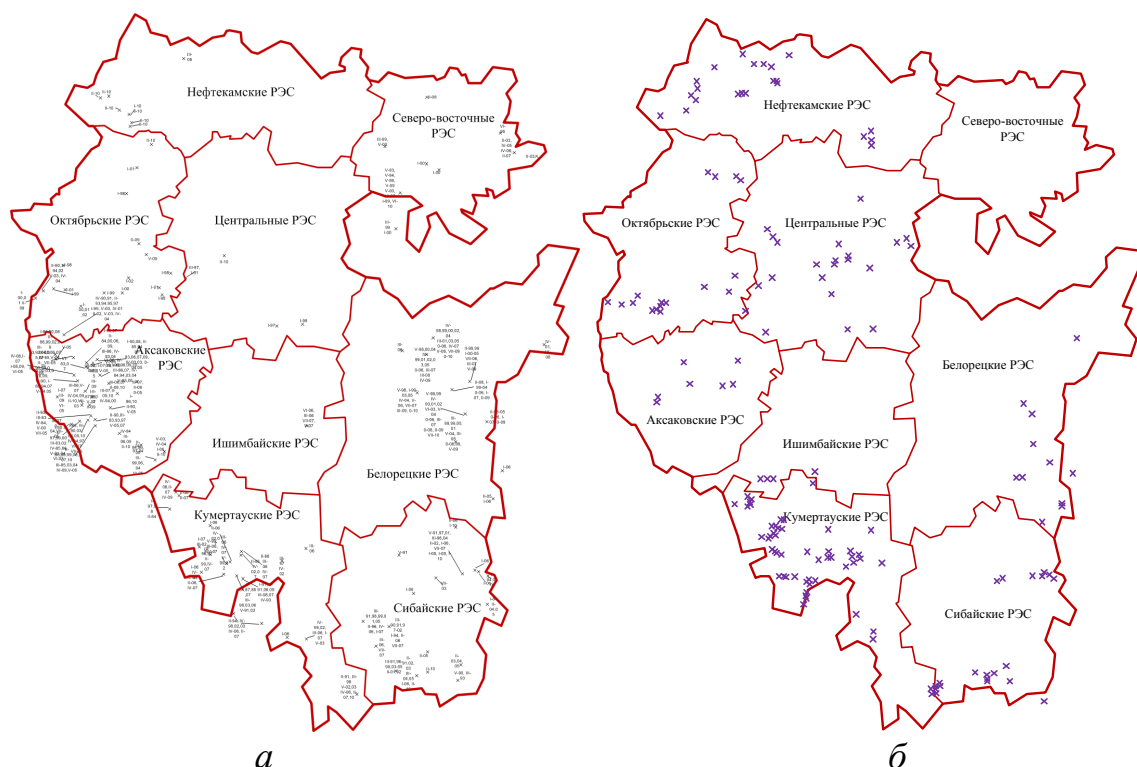


Рисунок 1 – Карта-схема Республики Башкортостан:
 а – образования гололеда на ВЛ 35-500 кВ (1983–2010 гг.),
 б – наблюдений пляски проводов на ВЛ 6–500 кВ (1955–2010 гг.)

Карты составляются с использованием многолетних наблюдений на метеостанциях, а также опыта эксплуатации ВЛ с 1983 г. При определении максимальных приведенных величин гололедных отложений на ВЛ и гололедных станках ГМС с учетом одинаковости их абсолютных отметок местности и типа рельефа использовался Первый предельный закон распределения по Гумбелю вида

$$F(b) = e^{-e^{-\alpha(b-\beta)}},$$

где b – приведенная толщина стенки гололеда, мм;

α, β – параметры распределения.

Несовершенство существующих на текущий момент систем мониторинга пляски проводов, и недостаток объективных данных о пляске указывают с большой долей вероятности на необходимость проверки электросетевых районов, в которых пляска проводов не была зафиксирована обслуживающим персоналом предприятий, выявления факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на частоту повторяемости пляски и ее интенсивность и определяемых при помощи экспертной оценки. При обработке данных наблюдений было учтено влияние на интенсивность пляски проводов, на характер гололедообразования и на скорость ветра микроклиматических особенностей: как природных условий (рельефа местности, высоты над уровнем моря, наличия крупных естественных водоемов), так и существующих и проектируемых инженерных сооружений. Применив методику «Экспертная оценка фактора опасности пляски проводов ВЛ», был сделан вывод, что на тех

линиях, где пляска не фиксировалась системами мониторинга, возможна умеренная пляска проводов.

В результате исследования разработаны карты районирования Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов (рисунок 2).

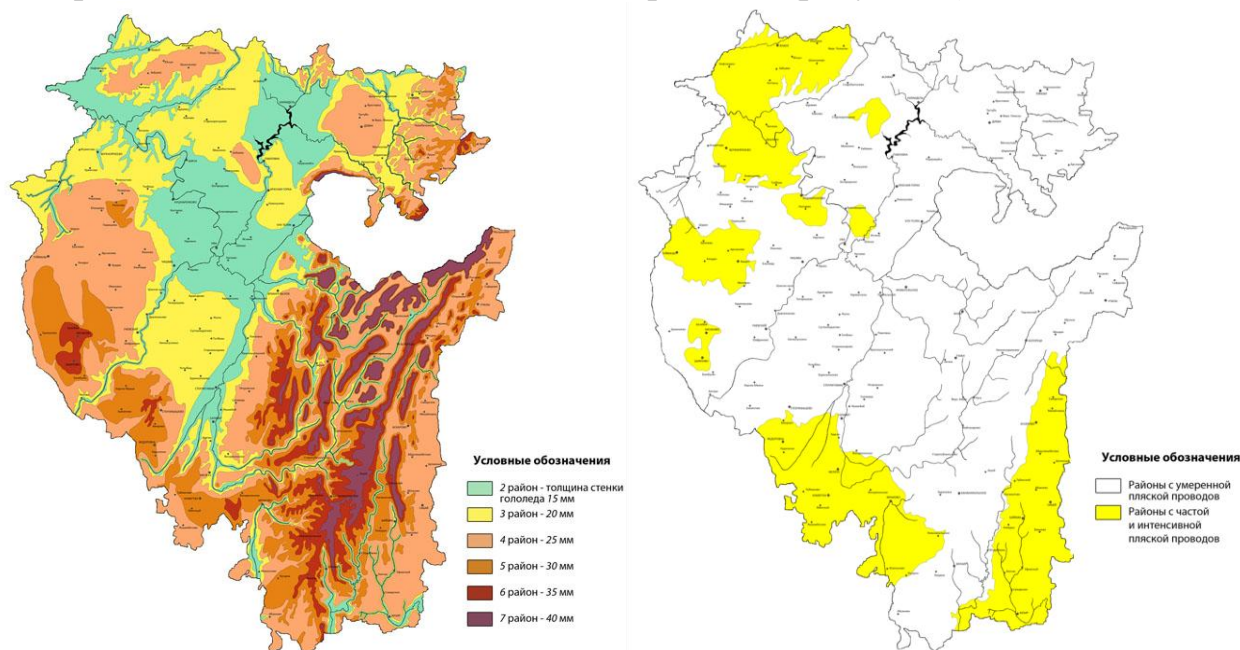


Рисунок 2 – Климатические карты районирования Республики Башкортостан

Для реализации системы плавки гололеда без отключения потребителей была разработана система плавки гололеда посредством наложения постоянного тока на переменный (рис. 2). Схема плавки гололеда имеет преимущества по сравнению с другими схемами плавки гололеда:

1) плавка гололеда осуществляется одновременно на всех параллельных и кольцуемых ВЛ, что имеет принципиальное значение при любых климатических аномалиях: массовых гололедах, снего-ветровых явлениях, ледяных дождях, масштабных плясках проводов;

2) плавка производится под нагрузкой без отключения потребителей, следовательно, проведение плавки возможно в любое время, не зависимо от режима потребителя;

3) уменьшается количество оперативных переключений;

4) значительно расширяются возможности плавки на длинных линиях с применением вариантов: «провод–2 провода», «6 проводов» и др.;

5) плавки проводятся без использования «земли» в качестве обратного провода, что исключает повышенные требования к электробезопасности по уровням шагового напряжения и напряжения прикосновения, по термической и коррозионной устойчивости контуров заземлений, а также позволяет снизить мощность источника постоянного тока.

Разработаны структурные схемы распределительных устройств подстанций, позволяющие проводить плавку гололеда наложением постоянного тока на переменный. При схеме распределительного устройства подстанции с

обходной системы шин на можно организовать протекание постоянного тока по обходной системе шин.

На подстанции с установкой плавки необходимо предусмотреть две системы сборных шин для плавки. Разъединители устанавливаются таким образом, что линии, включенные параллельно или в кольцо, подключаются к разным полюсам выпрямительной установки. В схему дополнительно устанавливаются заградительные конденсаторы и реактор, которые обеспечивают протекание постоянного тока плавки только по линиям электропередачи и фильтрацию постоянного тока на других участках электрической сети.

Моделирование установки плавки гололеда постоянным током без отключения потребителей проводилось по схеме на параллельных линиях (рисунок 3). Целью моделирования было исследовать режим работы линий электропередачи при одновременном протекании переменного тока нагрузки и постоянного тока плавки по одной из фаз. Моделирование проводилось с использованием пакета MATLAB Simulink. Компьютерная модель представлена на рисунке 4. На рисунке 5 представлены осциллограммы токов и напряжений для схем с и без плавки в точках: на питающей и понизительной подстанциях, в начале и в конце линий.

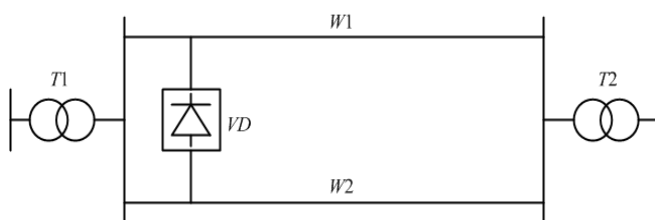


Рисунок 3 – Схема плавки гололеда наложением постоянного тока

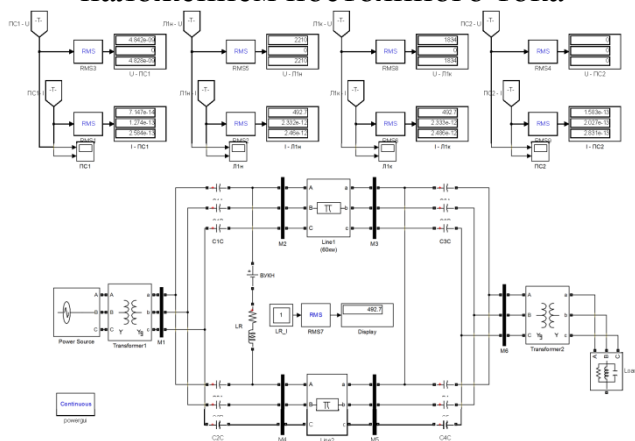
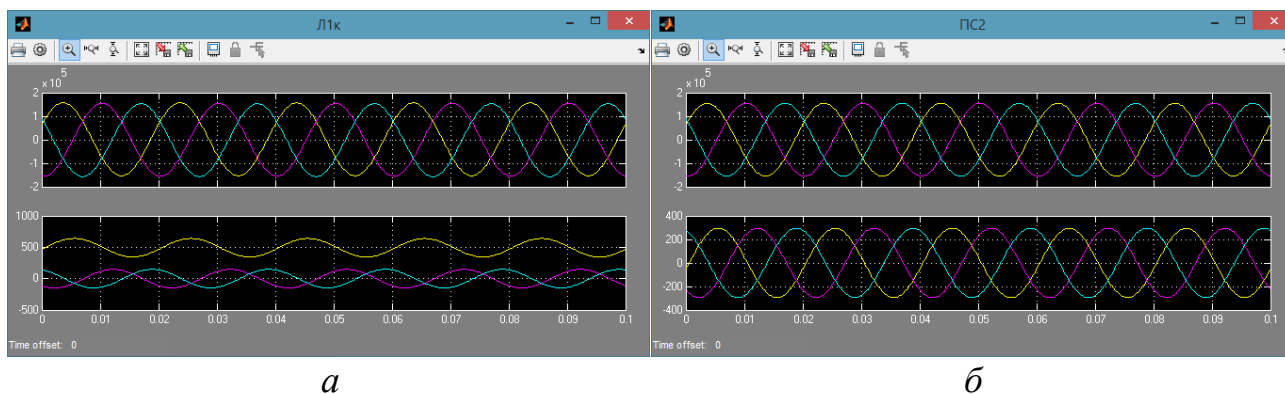


Рисунок 4 – Модель схемы плавки

Из результатов моделирования видно, что в разработанной схеме постоянный ток плавки замыкается только по линиям электропередачи и не протекает по другим частям электрической сети. Таким образом, система плавки наложением постоянного тока на рабочие токи без отключения потребителей обеспечивает требуемый режим работы и может быть реализована в электрических сетях.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям системы плавки гололеда без отключения потребителей. Экспериментальные исследования проводились на лабораторном стенде по исследованию воздушных линий электропередачи по схеме на рисунке 3. Результаты экспериментальных

исследований и расчетов в графическом виде представлены на рисунке 6. Исходя из экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что предлагаемая система плавки гололеда наложением постоянного тока на переменный без отключения потребителей приводит к увеличению тока плавки гололеда без изменения режима работы потребителей и установленного



а *б*
 Рисунок 5 – Диаграммы токов и напряжений:
а – в линии, *б* – на подстанции

оборудования. Ток плавки определяется наложением постоянного и переменного токов, время плавки необходимо рассчитывать исходя из величины гололедных отложений.

Были рассчитаны экономические показатели внедрения системы плавки гололеда без отключения потребителей. Согласно расчетам, рассматриваемый инвестиционный проект характеризуется следующими экономическими показателями: дисконтированный срок окупаемости 3,17 лет, чистый дисконтированный доход 0,7 млн руб., индекс доходности 1,1413.

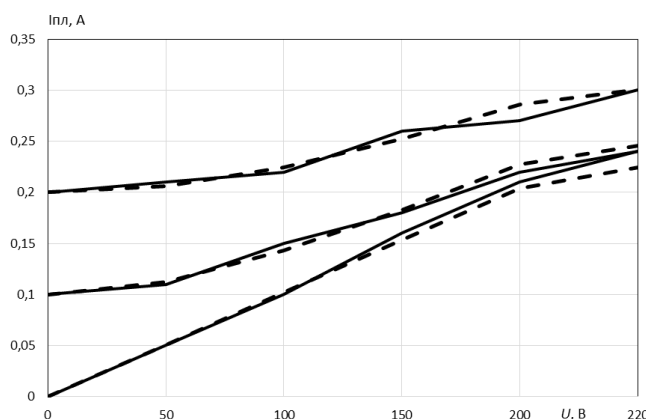


Рисунок 6 – Сравнение
экспериментальных и расчетных
данных

Четвертая глава посвящена разработке комплексной системы мониторинга ВЛ электропередачи в осенне-зимний период для предотвращения гололедных аварий (патент 107412 РФ). С использованием новейшей элементной базы и с учетом опыта эксплуатации существующих постов мониторинга различных производителей разработана автоматизированная система контроля гололедно-ветровых нагрузок на проводах и грозозащитных тросах ВЛ (АСКГН). Общий вид АСКГН представлен на рисунке 7. Экспериментальный комплект было решено установить до наступления ОЗП на металлической опоре № 44 ВЛ 110 кВ «Шкапово–Аксаково»–2 Аксаковских РЭС БашРЭС–Стерлитамак ООО «Башкирэнерго».

АСКГН состоит из контролируемого пункта (КП) автоматического опроса, обеспечивающего опрос подключенных датчиков, дистанционный контроль технологического оборудования и обмен данными с центральным сервером системы телемеханики в диспетчерском пункте. Передача данных по GPRS-каналу осуществляется в режиме онлайн.

Структурная схема КП представлена на рисунке 8.

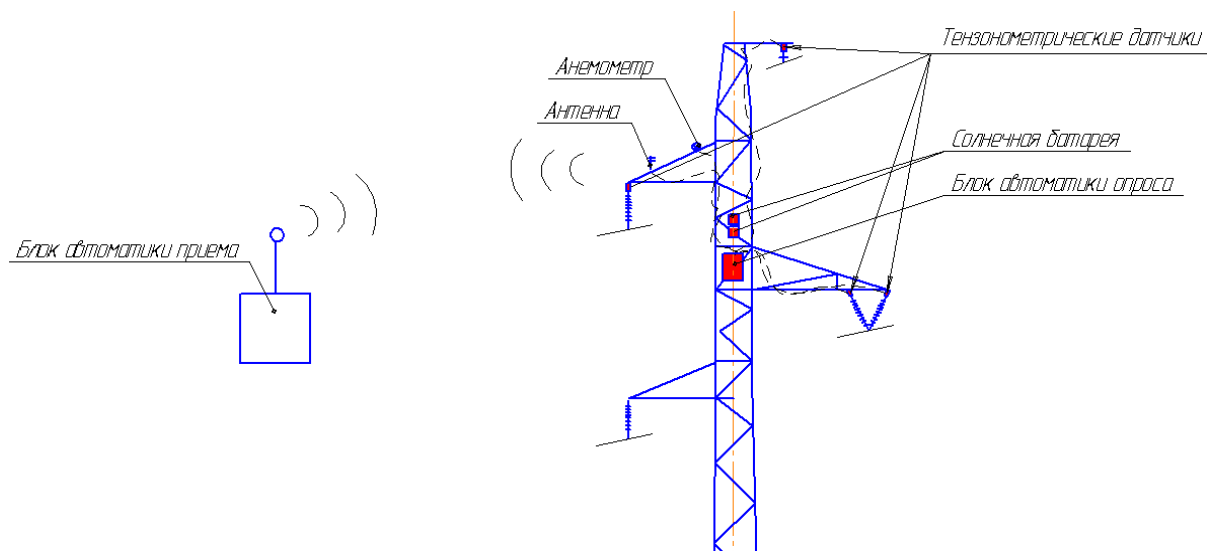


Рисунок 7 – Общий вид АСКГН

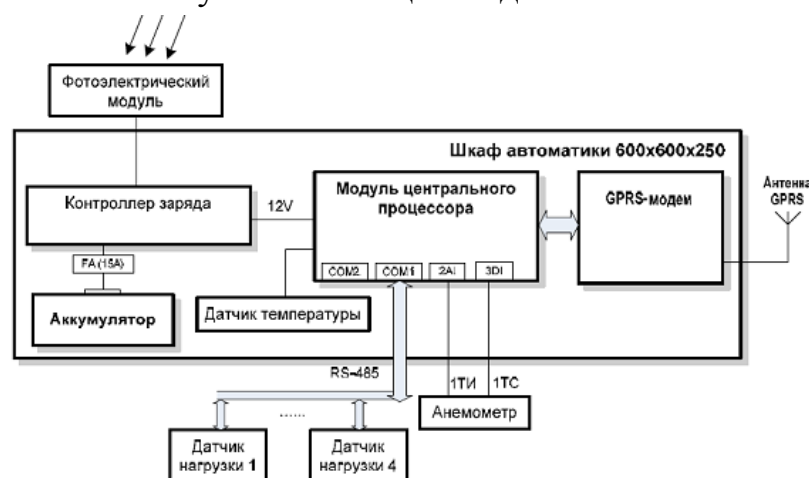


Рисунок 8 – Структурная схема контролируемого пункта автоматики опроса

Основным режимом работы КП является осуществление опроса датчиков по каналам RS 485 и передача полученных данных по GPRS-каналу.

В состав КП, находящегося на контрольной точке, входят: тензонометрические датчики, программируемый контроллер, комплект для радиосвязи по GPRS/GSM каналу, аккумуляторная батарея (12V, 140Ah), контроллер заряда аккумуляторной батареи, датчик температуры цифровой, анемометр, фотоэлемент (солнечная батарея) – 2 шт.

Второй элемент АСКГН – центральный пункт автоматики приема, предназначен для обеспечения приема и передачи пакетных данных и выполнения следующих функций:

- формирования пакета для передачи/приема информации с помощью GPRS-модема;
- обеспечения связи с другими контроллерами системы;
- управления встроенным модемом.

Контролируемый пункт блока автоматики приема включает в себя блок питания, GPRS-модем, антенну. Внешний вид АСКГН показан на рисунке 9.

Отображение и обработка полученной телеметрической информации в оперативно-информационном комплексе ОИК «Диспетчер» освобождает

электросетевую компанию от необходимости применения специализированного ПО и организации дополнительного рабочего места для работы с данным ПО, что в масштабах всей энергосистемы существенно сокращает эксплуатационные затраты.

Проведены опытные исследования на действующей воздушной линии электропередачи. Опыт эксплуатации подтвердил работоспособность системы, по показаниям которой только в первые дни гололедной волны было произведено две плавки гололеда на грозозащитном тросе и одна на всех фазах, и выявил, что недостатком является ограниченность зоны мониторинга, так как АСКГН устанавливается в определенном пролете ВЛ. Также слабым звеном системы является ее электропитание.

На подстанции «Шкапово» Белебеевских электрических сетей ООО «Башкирэнерго» установлена система мониторинга гололеда (СМГ), основанная на методе локационного зондирования воздушных линий электропередачи, который позволяет следить за процессом образования гололеда на проводах воздушных линий. Локационный метод контроля гололедообразования на проводах является косвенным и позволяет контролировать гололедообразование по всей длине ЛЭП.

Результаты контроля линий Шкапово–Чегодаево и Шкапово–Аксаково представляют интерес, так как на них установлены весовые датчики контроля гололеда. Совместная эксплуатация локационной системы и весовых датчиков позволяет провести юстировку показаний локационной системы мониторинга гололеда, привязав локационные данные (затухание и запаздывание импульса) к реальной массе гололеда на проводах.

Различие показаний системы локационного мониторинга гололеда и весовых датчиков объясняется различными принципами работы этих устройств. Так, весовой датчик определяет вес провода в двух полупролетах около опоры, на которой смонтирован датчик, а локационным методом определяется интегральное по длине линии значение количества гололеда, которое затем приводится к массе гололеда в одном пролете. При неравномерном гололедообразовании локационный метод будет давать заниженные значения



Рисунок 9 – Внешний вид АСКГН

толщины и массы гололедных отложений. Несмотря на это, оба метода дают совпадающие динамики отложения гололеда на проводах.

На основании полученных в ходе опытного исследования данных для увеличения надежности работы энергосистемы в условиях гололедообразования разработаны новые технические решения по созданию комплексной системы контроля гололедно-ветровых нагрузок, сочетающей в себе мониторинг посредством весовых датчиков и локационный мониторинг.

Система локационного мониторинга внедряется на ряд ВЛ с захватом определенной географической территории, ограниченной схемами плавки гололеда. Мониторинг весовых датчиков необходим для определения веса гололеда в определенных пролетах ВЛ, которые наиболее подвержены гололедообразованию.

Принципы действия комплексной системы следующие:

1. Информация от метеостанций районов анализируется и при условии срабатывания уставок по температуре, влажности, ветре дает сигнал на начало опроса системы локационного мониторинга.

2. Сигнал о начале гололедообразования и его географическом направлении передается от локационного мониторинга. Данный сигнал является уставкой для начала опроса системы мониторинга с весовыми датчиками.

3. По весовым датчикам определяется режим плавки: схема, ток, время начала и окончания. Сигнал от весового датчика направляется в ОИК и дает диспетчеру указание на организацию плавки.

4. Результатом окончания плавки является информация об отсутствии гололеда от локационной системы.

Предложенный подход к организации опроса позволит:

- сэкономить на стоимости СКГН за счет менее емких батарей;
- сэкономить за счет энергосберегающего режима работы;
- продлить срок полезной службы СКГН.

На разработанной карте представлена зона действия комплексной системы мониторинга в сетях 110 кВ для полной наблюдаемости над ними в части гололедообразования (рисунок 10). Установка на узловых подстанциях Редькино, Туймазы, Месягутово, Аксаково, Белорецк, Мраково, Бурибай локационных комплектов позволит обеспечить полную наблюдаемость и контролируемость развития гололедной волны в гололедоопасных районах республики. Эти области на карте заштрихованы.

Диспетчер по полученным от локационного мониторинга данным сможет определить направление движения гололедной волны.

Для предложенной комплексной системы контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушных линиях электропередачи была проведена оценка экономического эффекта проекта реализации комплексной системы мониторинга гололедообразования. Проект характеризуется следующими экономическими показателями: дисконтированный срок окупаемости 0,98 лет, чистый дисконтированный доход 8,5 млн руб., индекс доходности 2,7.

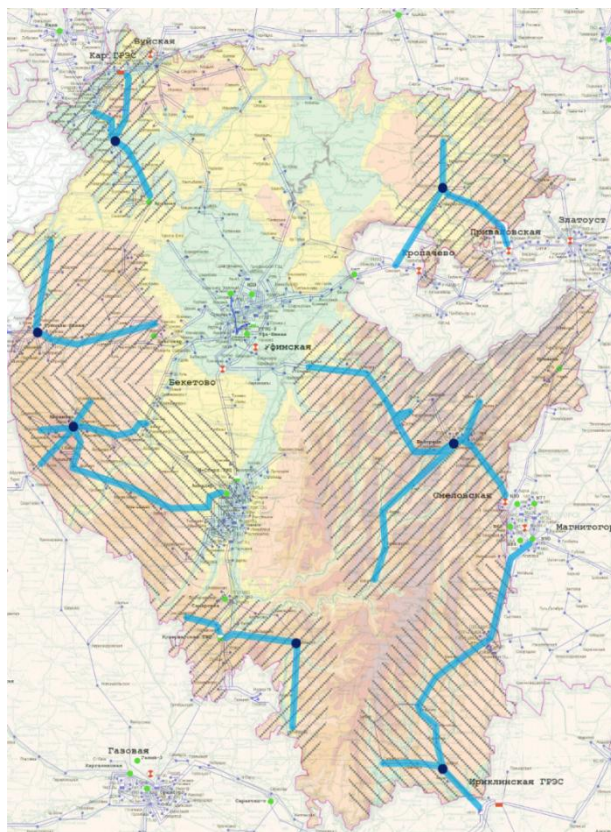


Рисунок 10 – Зона действия комплексной системы мониторинга в сетях 110 кВ для обеспечения наблюдаемости ВЛ в гололедоопасных районах РБ

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны карты районирования территории РБ по толщине стенки гололеда и по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов. На основании разработанных карт районирования возможно определение расчетных условий по гололеду для выбора комплексов и систем по борьбе с гололедом, их качественных и количественных характеристик и режимов работы.

2. Проведен анализ существующих схем плавок гололеда. Рекомендовано применять схемы и режимы плавки без отключения потребителей на время проведения плавки для обеспечения непрерывности электроснабжения. Разработана схема соединения оборудования РУ ПС и ВЛЭП в составе системы плавки гололеда посредством наложения постоянного тока на переменный. Данная схема позволяет исключить протекание постоянного тока плавки гололеда через силовые трансформаторы во время проведения плавки. Схема также позволяет увеличить зону охвата плавки гололеда, снизить риск ошибки оперативного персонала, увеличить надежность работы энергосистем в режимах гололедно-ветровых воздействий.

3. На основе результатов имитационного моделирования установлено, что система плавки гололеда наложением постоянного тока на токи нагрузки без отключения потребителей обеспечивает требуемый режим работы потребителей и может быть реализована в электросетевых предприятиях. Экспериментальные исследования подтвердили имитационное моделирование.

4. Проведен анализ существующих систем мониторинга за гололедом. Недостатки рассмотренных систем – невысокие надежность и оперативность мониторинга климатических нагрузок на проводах и тросах ВЛ.

Разработана и внедрена в эксплуатацию система контроля гололедно-ветровых нагрузок на проводах и грозозащитных тросах ВЛ. Испытания на существующей воздушной линии подтвердили работоспособность системы. Опыт эксплуатации показал, что недостатками системы являются ограниченность зоны мониторинга и значительное электропотребление. Проведены экспериментальные исследования метода локационного зондирования воздушных линий электропередачи, который является косвенным и при неравномерном отложении гололеда на ВЛ дает заниженные величины толщины и массы гололедных отложений. Разработана комплексная система контроля гололедообразования, не имеющая вышеперечисленных недостатков. Предложена карта-схема расстановки локационных комплексов в сетях 110 кВ для обеспечения наблюдаемости ВЛ в гололедоопасных районах РБ, предложен метод организации опроса СКГН, позволяющий существенно снизить энергопотребление системы контроля гололедообразования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Минуллин, Р.Г. Обнаружение локационным зондированием гололеда на воздушных линиях электропередачи Республики Башкортостан [Текст] / Р.Г. Минуллин, Р.Р. Аскарлов, В.А. Касимов, М.Р. Яруллин, А.Ю. Елизарьев, О.Е. Семенов, А.И. Салимгареев // Энергетика Татарстана. – 2014. – № 3–4 (35–36). – С. 42–45.

2. Елизарьев, А.Ю. Плавка гололеда на воздушных линиях электропередачи без отключения потребителей [Текст] / А.Ю. Елизарьев, А.Р. Валеев // Вестник УГАТУ. – Т. 19, № 4 (70). – 2015. – С. 59–65.

3. Елизарьев, А.Ю. Совершенствование системы контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушных линиях электропередачи [Текст] / А.Ю. Елизарьев, А.Р. Валеев, Г.А. Громова // Вестник УГАТУ. – Т. 20, № 1 (71). – 2016. – С. 136–142.

В изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS:

4. Bayramov, I.Y. Range of activities by “Bashkirenergo” LLC to improve the reliability of overhead power lines during heavy icing / I.Y. Bayramov, A.Y. Elizariev, A.R. Valeev // WIT Trans. Ecol. Environ. Vol. 190 Volume 1. – 2014. – P. 591–598.

В прочих изданиях:

5. Шевелев, Ю.П. Комплекс работ, проводимых в ООО «Башкирские распределительные электрические сети», и мероприятий по повышению надежности работы ВЛ в время интенсивного гололедного образования [Текст] / Ю.П. Шевелев, И.Ю. Байрамов, А.Ю. Елизарьев // Гололедно-ветровые явления на ВЛ – пути решения. – Уфа УГАТУ, 2012. – С. 25–29.

6. Громова, Г.А. Комплексная система контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушных линиях электропередачи [Текст] / Г.А. Громова, А.Ю. Елизарьев, В.Е. Громов // Электроэнергетика глазами молодежи–2016. В 3 т. Т. 3. – Казань: КГЭУ, 2016.– С. 202–206.

7. Громова, Г.А. Разработка новых подходов к контролю гололедно-ветровых нагрузок на воздушных линиях электропередачи [Текст] / Г.А. Громова, А.Ю. Елизарьев // Вопросы надежности работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок. – Уфа: РИК УГАТУ, 2016. – С. 82–95.

8. Елизарьев, А.Ю. Система плавки гололеда на воздушных линиях электропередачи наложением постоянного тока на переменный [Текст] / А.Ю. Елизарьев, Г.А. Шарафиева // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Ч. 1. – Уфа: УГАТУ, 2015. – С. 132–137.

9. Елизарьев, А.Ю. Техничко-экономическая оценка системы плавки гололеда наложением постоянного тока на переменный без отключения потребителей [Текст] / А.Ю. Елизарьев, Г.А. Шарафиева // Молодежный Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 13. – № 1 – С. 13–18.

10. Елизарьев, А.Ю. Вопросы гололедообразования на территории РБ [Текст] / А.Ю. Елизарьев, А.И. Семендяев // Электротехнические комплексы и системы. – Уфа: УГАТУ, 2014. – С. 7–10.

11. Елизарьев, А.Ю. Оптимизация использования финансовых средств за счет применения современной элементной базы для управления и контроля состояния энергетического оборудования [Текст] / А.Ю. Елизарьев, С.В. Зайцев // IV Слет молодых энергетиков Башкортостана. – Уфа: Скиф. – 2010. – 586 с.

12. Исмагилов, Ф.Р. Региональная карта расчетных районов территории Республики Башкортостан по толщине стенки гололеда [Текст] / Ф.Р. Исмагилов, В.А. Максимов, Т.Ю. Волкова, А.Ю. Елизарьев, А.Р. Валеев // Электротехнические комплексы и системы. – Уфа: УГАТУ, 2011. – С. 7–13.

13. Волкова, Т.Ю. Районирование территории Республики Башкортостан по частоте повторяемости и интенсивности пляски проводов [Текст] / Т.Ю. Волкова, А.Ю. Елизарьев, А.Р. Валеев, В.А. Максимов // Электротехнические комплексы и системы. – Уфа: УГАТУ. – 2012. – С. 43–47.

14. Максимов, В.А. Противогололедные композитные провода линий электропередачи [Текст] / В.А. Максимов, А.Ю. Елизарьев // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Ч. 1. – Уфа: УГАТУ, 2015. – С. 183–189.

Патенты:

15. Система контроля гололедно-ветровых нагрузок [Текст]: пат. 107412 Рос. Федерация: МПК H02G 7/16 / Ф.Р. Исмагилов, С.В. Зайцев, А.Ю. Елизарьев; заявитель и патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2011106852/07; заявл. 22.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 22. – 2 с.