

На правах рукописи



БОБОЕВ Хуршедшоҳ Давлаталиевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Безопасность жизнедеятельности».

Научный руководитель –

Сидоров Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет).

Официальные оппоненты:

Ляхомский Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», г. Москва.

Кузьмин Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация горно-металлургического производства», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск.

Ведущая организация –

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск.

Защита состоится 08 апреля 2022 г., в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 909.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» и на официальном сайте ЮУрГУ по адресу: <https://www.susu.ru/ru/dissertation/d-21229805/bobojev-hurshedshoh-davlatalievich>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, д. 76, гл. корпус, Учёный совет ЮУрГУ, тел./факс: +7 (351)-267-91-23, e-mail: grigorevma@susu.ru

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.298.05
д-р техн. наук. профессор



М.А. Григорьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Карьерные распределительные сети (КРС) горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан (РТ), как и любой другой объект электроэнергетики, подвержены повреждениям и ненормальным режимам работы. Эффективность системы электроснабжения горных предприятий, а также уровень электробезопасности во время эксплуатации электрооборудования, работающего в тяжелых условиях при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, в значительной мере зависит от состояния изоляции фаз сети относительно земли КРС напряжением 6 кВ, от разработки и совершенствования средств и методов измерения параметров изоляции электроприемников под рабочим напряжением.

Одним из важных параметров в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации КРС является уровень сопротивления изоляции фаз сети относительно земли. При исправном электрооборудовании оно велико, но может снижаться при появлении слабых мест в изоляции. Ее влияние на отключение потребителей и перерывы в электроснабжении достигает 40 – 60 %. Из-за повреждений изоляции до 40% коммутационных аппаратов и до 90 % электрических машин выходят из строя. Кроме того, в КРС однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются основным видом повреждений. Их число доходит до 90 % от общего количества повреждений. Это приводит к серьезным нарушениям технологического процесса добычи и значительному ущербу от простоев высокопроизводительных горных машин и комплексов.

Необходимо отметить, что при механических повреждениях, как правило, происходит мгновенное разрушение изоляции, а электрическое старение изоляции – процесс, распределенный во времени, на продолжительность которого влияют многие факторы: температура окружающей среды, солнечная радиация, количество осадков, механические и электрические нагрузки.

Старение параметров изоляции фаз сети относительно земли в КРС во много зависит от климатических условий. В условиях РТ наиболее важными параметрами, резко снижающими надежность электрической изоляции, являются температура, солнечная радиация, количество осадков и относительная влажность.

Следовательно, разработка методов определения и средств контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли в КРС напряжением 6 кВ и управление их уровнем является актуальной научно-практической задачей.

Степень разработанности темы исследования.

В основе данной работы лежат исследования таких ученых как Белых Б.П., Гладилин Л.В., Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Чеботаев Н.И., Сидоров А.И., Петров Г.М., Утегулов Б.Б., в том числе ученых Республики Таджикистан Иноятов М.Б., Усманов Х.М., Рахимов О.С., Додхудоев М.Д., и других, внесших большой вклад в разработку методик, а также способов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли.

Цель и задачи исследования. Повышение уровня безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан за счет внедрения системы контроля параметров изоляции.

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

1. Разработать компьютерную модель карьерной распределительной электрической сети напряжением 6 кВ и с ее помощью исследовать метод определения параметров изоляции фаз сети относительно земли, основанный на подключении к одной из фаз дополнительной емкости.

2. Разработать методику исследования параметров изоляции фаз сети относительно земли распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ карьеров Республики Таджикистан, основанную на подключении дополнительной емкости.

3. Провести исследование параметров изоляции фаз сети относительно земли в реальных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан.

4. Разработать систему контроля состояния изоляции в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан, основанную на измерении режимных параметров.

Объект исследования – распределительные электрические сети напряжением 6 кВ горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан.

Предмет исследования – закономерности изменения параметров изоляции фаз сети относительно земли распределительных электрических сетей, находящихся в эксплуатации, с учетом которых разработать систему контроля параметров изоляции.

Научная новизна:

- установлено влияние на точность измерений параметров изоляции сети относительно земли методом подключения к одной из фаз дополнительной емкости при наличии несимметрии в сети, изменении величины и характера нагрузки в ней;
- выявлено влияние факторов окружающей среды (температуры воздуха, солнечной радиации и относительной влажности) на параметры изоляции фаз КРС относительно земли;
- экспериментально доказано, что результаты измерения системы контроля изоляции фаз сети относительно земли, работа которой основана на измерении режимных параметров, практически не зависят от наличия несимметрии в сети.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Обоснована и разработана компьютерная модель распределительной электрической сети напряжением 6 кВ в программной среде Matlab/Simulink, использование которой позволило установить влияние на результаты определения параметров сети относительно земли величины и вида нагрузки, а также наличия и величины несимметрии в ней при проведении измерений, основанных на подключении к одной из фаз сети дополнительной емкости.

2. Разработана система непрерывного контроля параметров изоляции фаз КРС относительно земли, выполнена оценка ее влияния на уровень электробезопасности, исследовано влияние на работу системы величины нагрузки и несимметрии в сети.

3. Методика измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли в электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6кВ принята к применению в карьерных распределительных электрических сетях Республики Таджикистан.

4. Результаты исследований внедрены в службе по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан (Госгортехнадзор при ПРТ), в карьерных распределительных сетях ООО СП «Зеравшан», а также в учебном процессе на кафедрах «Электроснабжение и электробезопасность» и «Релейная защита» Института энергетики Таджикистана (дисциплины «Электробезопасность», «Релейная защита и автоматика»), на кафедрах «Безопасность жизнедеятельности и экология» и «Релейная защита и автоматика» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими (дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», «Релейная защита и автоматика»), на кафедре «Электроснабжения» Горно-металлургического института Таджикистана (дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий», «Релейная защита и автоматика»), и кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) при изучении курса «Основы электробезопасности».

Методология и методы диссертационного исследования. В качестве основных методов исследования применялись: метод компьютерного моделирования и экспериментальные исследования в реальных карьерных распределительных сетях, а также статистические методы при обработке полученных экспериментальных результатов.

На защиту выносятся:

- компьютерная модель карьерной распределительной сети, позволяющая моделировать любые карьерные сети, а также доказательство ее адекватности;
- результаты исследования на компьютерной модели различных методик определения параметров изоляции сети относительно земли, основанных на подключении к одной из фаз дополнительной емкости;
- экспериментальные данные параметров изоляции фаз сети относительно земли карьера «Таррор» и динамика их изменений;
- система контроля изоляции, основанная на измерении режимных параметров карьерной распределительной сети, и результаты исследования её работы на компьютерной модели.

Реализация основных результатов диссертационной работы

Методика измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли принята к применению службой по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан, а также внедрена в карьерных распределительных электрических сетях ООО СП «Зеравшан».

Материалы диссертационного исследования нашли применение в курсах «Электробезопасность», «Релейная защита и автоматика», «Электроснабжение промышленных предприятий», «Безопасность жизнедеятельности» и «Основы

электробезопасности» в разных ВУЗах, что подтверждено соответствующими документами.

Описание системы контроля изоляции, ее работы и результаты исследования данной системы на компьютерной модели переданы ООО СП «Зеравшан».

Степень достоверности научных положений и результатов исследований подтверждается сопоставлением полученных результатов с помощью компьютерного моделирования с результатами экспериментальных исследований в реальных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ, при этом расхождение не превысило 8%, а также внедрением в практику эксплуатации КРС представленных в диссертации разработок.

Апробация результатов. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на: VII Международной научно-практической конференции «Казанские научные чтения студентов и аспирантов» (КИУ, г. Казань, 21 декабря 2018 г.); LVIII Международной научно-практической конференции «Достижения науки-агропромышленному производству» (ЮУрГАУ, г. Челябинск, 29 – 31 января 2019 г.); IX Всероссийской научно-практической «Техносферная безопасность в XXI веке» (ИРНТУ, г. Иркутск, 26 – 27 ноября 2019 г.); V–VI Всероссийских студенческих конференциях (с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» (ЮУрГУ, г. Челябинск, 25 – 26 апреля 2019 г., 22 – 23 апреля 2021 г.); VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (ЮУрГУ, г. Челябинск, 3 – 4 октября 2019 г.); XI – XII научных конференциях аспирантов и докторантов (ЮУрГУ, г. Челябинск, 12 марта 2019 г. 17 – 19 марта 2020 г.); International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECE – 2019, (PPU, Saint-Petersburg, 19 – 20 November, 2019); International Ural conference on electrical power engineering, UralCon-2020, (SUSU, Chelyabinsk, 22 – 24 September, 2020); Всероссийской научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (КГУ, г. Курган, 29 – 30 октября 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Развитие энергетики и возможности» (ИЭТ, г. Кушониён, 22 декабря 2020 г.); Национальной научной конференции «Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика» (ЮУрГАУ, г. Челябинск, 17 февраля 2020 г.); XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (СПбГУ, г. Санкт-Петербург, 14 – 16 апреля 2021 г.); III Международной научно-практической конференции «Безопасность технологических процессов и производств» (УГГУ, г. Екатеринбург, 26 мая 2021г.); II International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2021, SES-2021, (KSPEU, Kazan, 21 – 24 September 2021); IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2021, (NMSTU, 24 – 26 September Magnitogorsk, 2021); XXV Всероссийский аспирантско - магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика (КГЭУ, г. Казань, 7 – 8 декабря 2021 г.); а также на семинарах аспирантов и докторантов кафедры

«Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета, (г. Челябинск, 2018 – 2021 гг.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема соответствует п.3 паспорта научной специальности 05.26.01 – Охрана труда (по отраслям): «Разработка методов контроля, оценки и нормирования опасных и вредных факторов производства, способов и средств защиты от них» и п.7 «Научное обоснование, конструирование, установление области рационального применения и оптимизация параметров способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе 3 статьи в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, (для спец. 05.26.01), 2 статьи в других изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 публикации, индексируемые в базе Scopus/ Web of Science, 5 – в журналах РИНЦ и 12 – в материалах конференций.

Структура и объема диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа представлена на 175 страницах, содержит 143 страницы основного текста, 47 рисунков, 17 таблиц и 5 приложений на 32 страницах, 173 наименования библиографического списка, включая 8 наименований иностранных источников.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность начальнику службы по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан Рахиму С.А. и руководству и сотрудникам ООО СП «Зеравшан» (г. Пенджикент), за оказанную помощь при проведении исследований в распределительных электрических сетях карьера «Таррор».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, обозначены объект и предмет исследования, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы диссертационного исследования, представлены положения, выносимые на защиту, отражены сведения о степени достоверности и апробации полученных результатов.

В первой главе выполнен анализ состояния ряда КРС напряжением 6 кВ, дана их краткая характеристика, краткий обзор существующих технических способов и средств обеспечения безопасности в КРС РТ. Анализ схем электропитания показал, что несмотря на то, что все схемы имеют множество разновидностей и модификаций, любая из них может быть разбита на более простые радиальные участки. В этом случае осуществление контроля изоляции путем измерения режимных параметров отдельных участков не вызывает затруднений и может быть реализовано на практике.

По материалам службы по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан были проанализированы различные факторы, сопутствующие

щие травматизму. Анализ данных охватывал 10 лет – с 01.01.2011 по 31.12.2020 годы. Общее количество изученных случаев 103.

Во второй главе проведен обзор существующих методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в КРС, рассмотрены их достоинства и недостатки. Анализ показал, что наиболее удобным и безопасным является метод, основанный на подключении к одной из фаз сети дополнительной емкости. Этот метод не только обеспечивает безопасность при выполнении измерений, но и исключает снижение надежности электрических распределительных сетей. Кроме того, дополнительная емкость имеет стабильные параметры, не изменяющиеся (в отличие от дополнительной активной проводимости) по мере выполнения измерений.

При эксплуатации электрических сетей на параметры изоляции сети относительно земли кроме электрических, тепловых и механических нагрузок, существенное влияние оказывают и другие внешние воздействия (температура, влажность, солнечная радиация, количество осадков). Эти воздействия вызывают в изоляции сложные процессы, следствием которых является постепенное ухудшение изоляционных свойств. Проведенный анализ показал, что наблюдается снижение изоляционных свойств из-за влияния окружающей среды на электрическую изоляцию, в условиях жаркого климата и высокогорья РТ, что оказывает существенное влияние на надежность и безопасность эксплуатации электроустановок.

На основании исследования метода измерения параметров изоляции относительно земли и оценки его точности, а также для проведения экспериментальных исследований состояния изоляции в КРС разработана методика измерений в реальных электрических сетях напряжением 6 кВ с одновременным контролем различных факторов, влияющих на процесс изменения этих параметров (рис. 1).

Полученные результаты могут быть использованы для выбора и проверки устройств контроля изоляции и защиты от однофазных замыканий на землю.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния различных факторов на точность измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли. Выполнение исследований в реальной КРС вызывает, как правило, определенные трудности, связанные с проведением организационных и технических мероприятий, обеспечивающих электробезопасность как для исследователей, так и для остальных работников, занятых в это время на тех или иных работах.

В связи с указанными трудностями, для проведения исследований нами была разработана компьютерная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ в программной среде MATLAB-Simulink (рис. 2).

Известно, что полученные результаты, зависят от того, насколько модель корректно построена, правильно ли применены готовые блоки и определены их параметры.

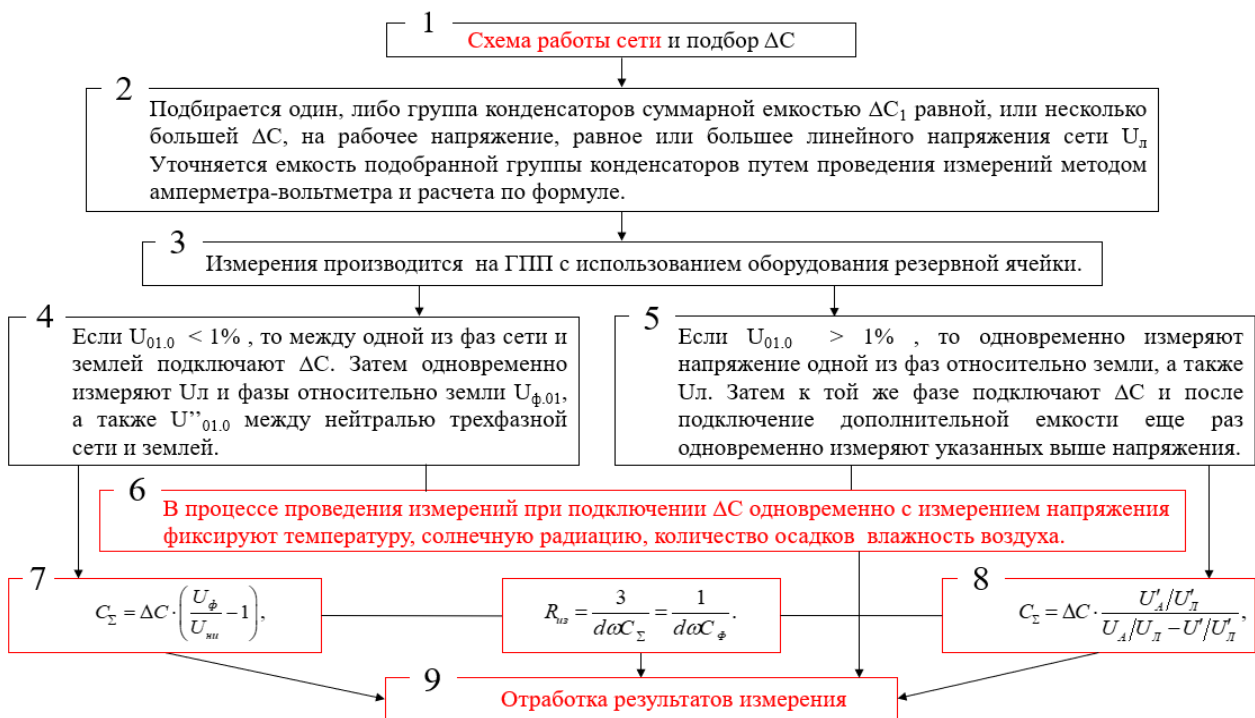


Рис. 1 – Методика измерений в реальных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ

Для проверки адекватности компьютерной модели нами была рассмотрена реальная КРС одного из горнодобывающих предприятий РТ. Адекватность модели проверена по значению тока однофазного замыкания на землю. Результаты, полученные в процессе имитационного моделирования и при аналитическом расчете, имели небольшое расхождение, что позволяет считать имитационную модель адекватной.

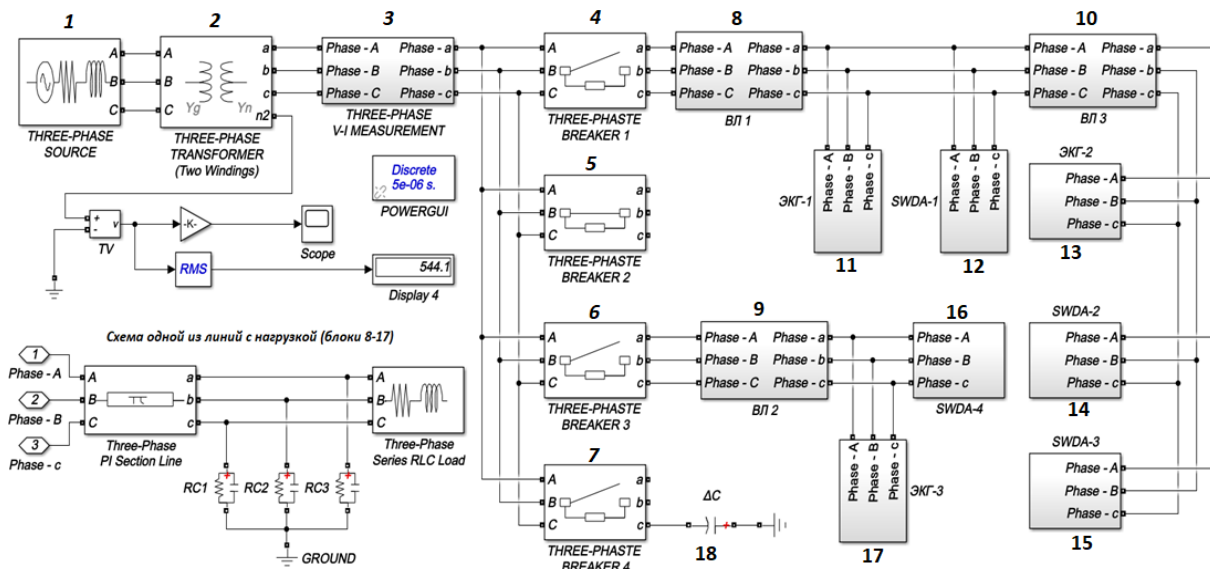


Рис. 2 – Компьютерная модель электрической сети напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью: 1 – трехфазный источник напряжением 35 кВ; 2 – блоки, моделирующие трехфазные трансформаторные подстанции; 3 – блоки измерительных приборов; 4, 5, 6, 7 – выключатели; 8 – 17 – блоки, моделирующие воздушные и кабельные линии с экскаваторами и буровыми станками; 18 – дополнительные емкостные проводимости, 19 – Блок «Powergui»

Исследование погрешностей определения параметров изоляции фаз сети относительно земли заключается в раскрытии зависимостей величин активной и емкостной проводимостей изоляции сети относительно земли от несимметрии в сети, нагрузки и т.п.

Оценим влияние на точность измерения сопротивления изоляции фаз сети относительно земли характера и величины нагрузки, а также несимметрии в сети во время измерений с помощью разработанной компьютерной модели.

Для выявления влияния на результаты измерений естественной несимметрии в карьерной распределительной сети, характера и величины нагрузки в ней, а также для принятия окончательного решения по вопросу проведения реальных исследований в КРС нами были рассмотрены и исследованы различные методики. При этом мы рассматривали влияние характера и величины нагрузки при изменении её от 0 до 100 %, а естественной несимметрии – от 0 до 5 %.

На рис. 3 показано влияние величины полной нагрузки при изменении её от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % на результаты определения искомых параметров по методике профессора Петрова О.А.

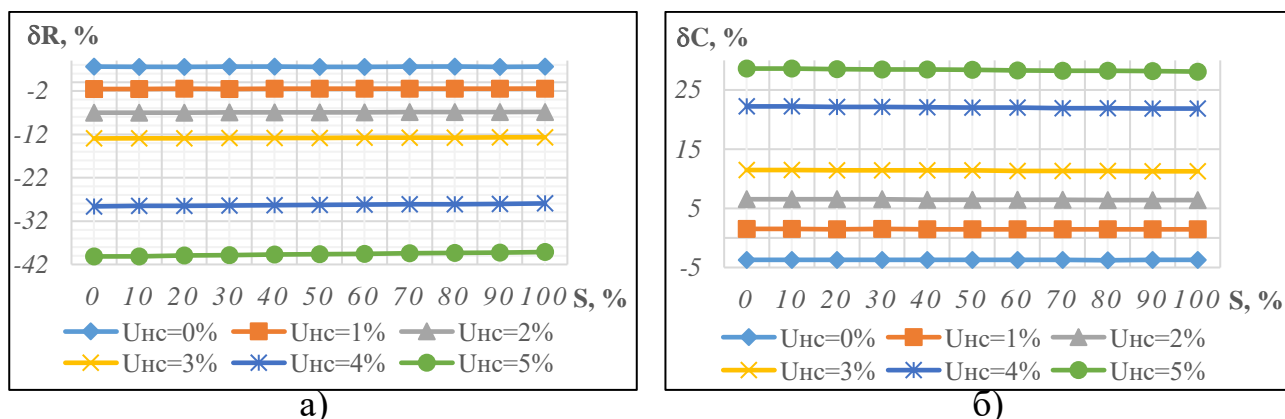


Рис. 3 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_ϕ (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Из рис. 3. а и 3. б следует, что при несимметрии в сети от 0 до 5 % и изменении нагрузки в сети от 0 до 100 % ошибка в оценке C_ϕ достигает 28 %, а в оценке R_ϕ -40 %. На рис. 4 показано влияние тех же факторов на интересующие нас параметры, определяемые по методике, разработанной на кафедре БЖД ЮУрГУ.

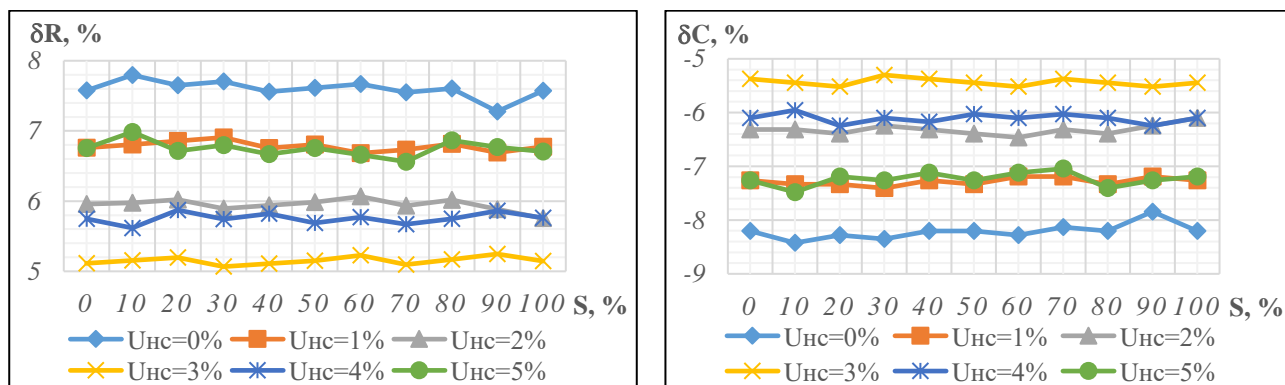


Рис. 4 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_ϕ (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Анализ изменения погрешностей показывает (рис. 4. а и б), что интересующие нас факторы оказывают незначительное влияние на результаты измерений. Погрешность в определении параметров изоляции фаз сети относительно земли не превышает 8,3 %.

На рис. 5 показано аналогичное влияние величины полной нагрузки и несимметрии, но по методике кандидата технических наук Лапченкова К.В.

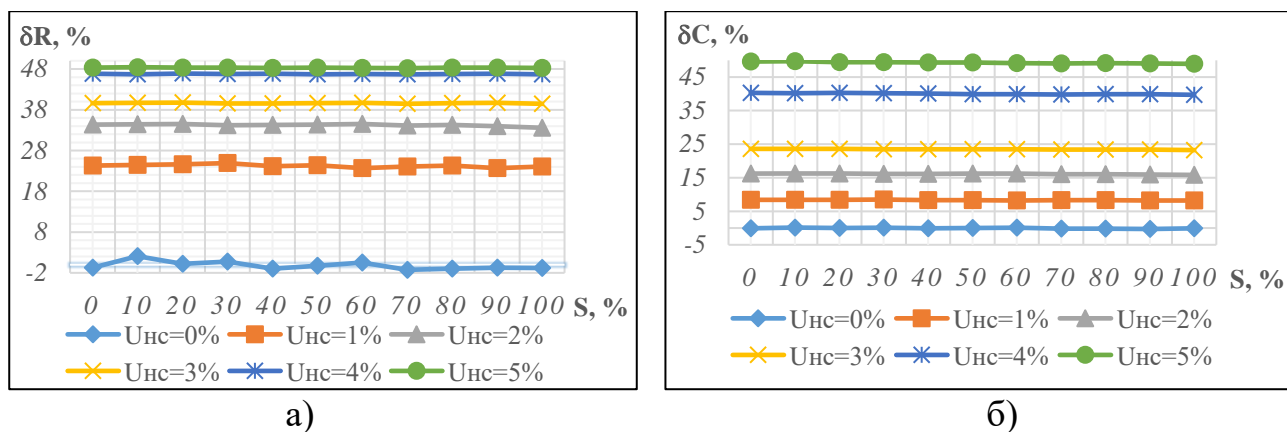


Рис. 5 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_f (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Согласно рис. 5. а) и 5. б, нахождение по этой методике исследуемых параметров может привести к ошибке в определении C_f и R_f до 50 %.

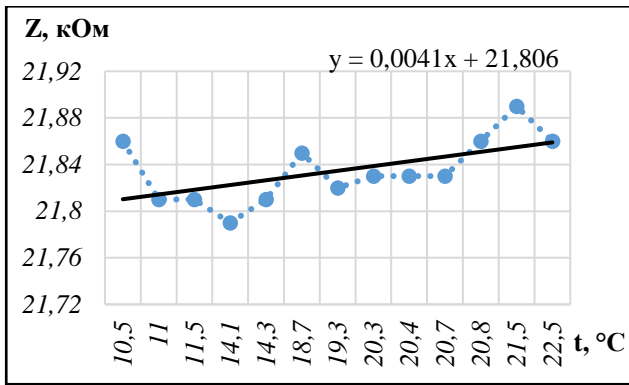
В работе также были рассмотрены и исследованы влияния величин активной и реактивной нагрузок при изменении последних от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % на результаты измерений по методикам указанным выше.

Анализ полученных нами результатов подтверждает теоретические исследования, в которых показано, что при $U_{nc} \leq 1\%$ первая и третья методики применимы и дают приемлемые результаты, а при $U_{nc} \geq 1\%$ пользоваться необходимо второй методикой.

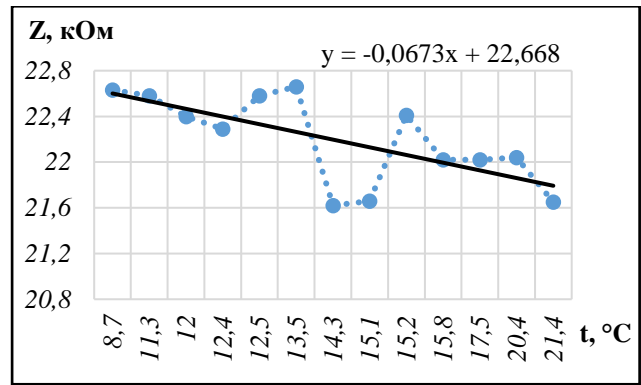
Следует особо отметить, что в КРС всегда наблюдается несимметрия, следовательно, применение второй методики дает наименьшую погрешность, и она может быть использована при проведении исследований интересующих нас параметров в карьерных распределительных сетях.

На основании проведенных исследований с помощью разработанной нами компьютерной модели и полученных результатов можно сделать вывод, что характер и величина нагрузки, а также несимметрия в сети во время измерений незначительно влияют на точность измерения в случае применения второй методики.

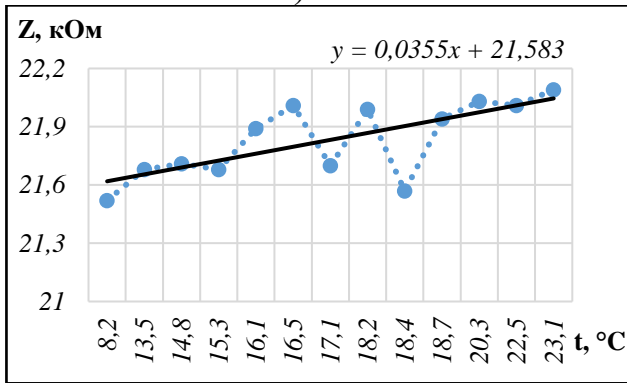
В четвертой главе представлены экспериментальные исследования параметров изоляции фаз сети относительно земли напряжением 6 кВ карьера «Таррор» СП «Зеравшан». Экспериментальные измерения параметров изоляции КРС-6 кВ таррорского карьера проводились в следующем порядке. Измерения производились каждый час, при этом фиксировались температура, относительная влажность окружающего воздуха и солнечная радиация. В результате экспериментальных исследований по предложенной выше методике определены изменения параметров изоляции фаз сети относительно земли (рис. 6. – рис. 8).



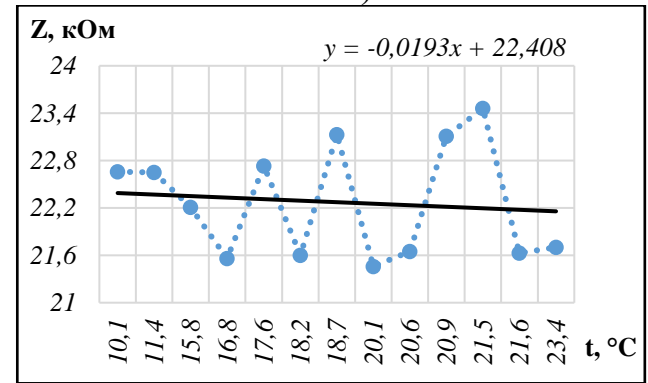
а)



б)

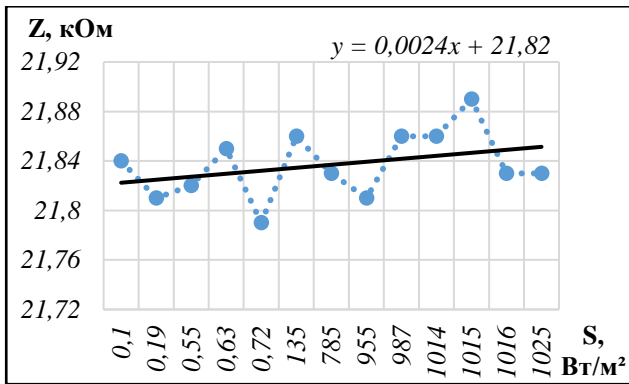


в)

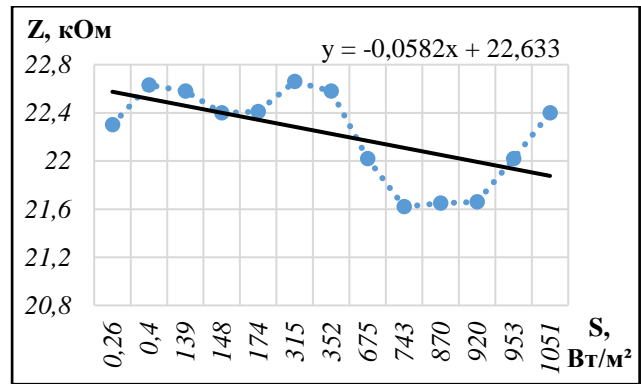


г)

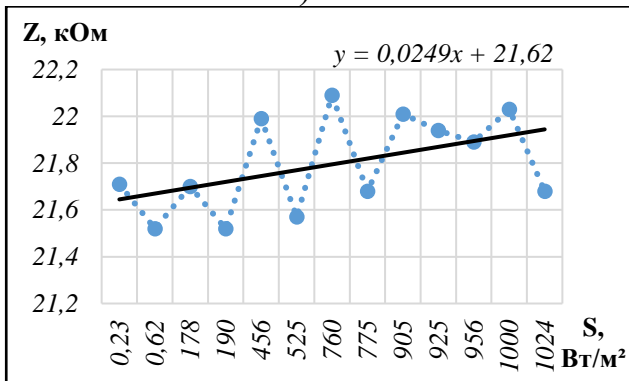
Рис. 6 – Влияние температуры на сопротивление изоляции сети относительно земли в дни исследований



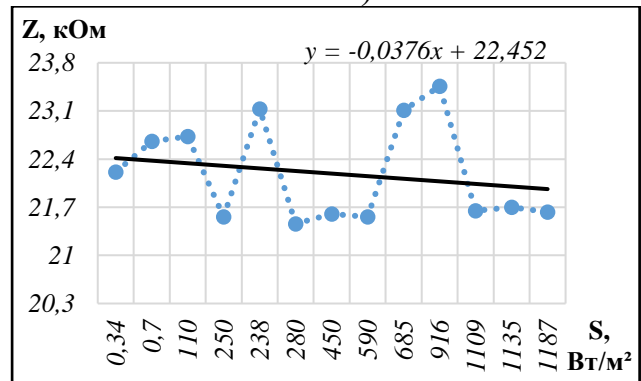
а)



б)



в)



г)

Рис. 7 – Влияние солнечной радиации на сопротивление изоляции сети относительно земли в дни исследований

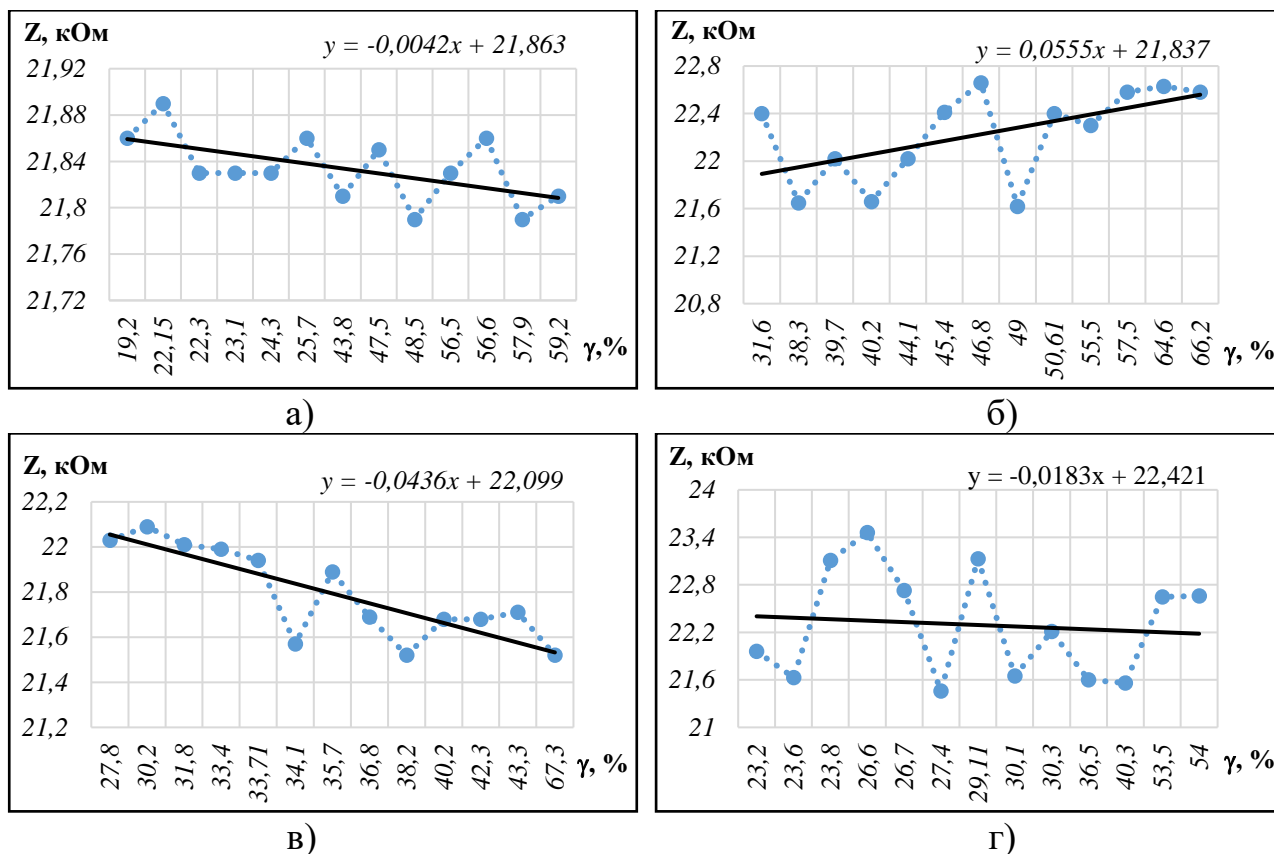


Рис. 8 – Влияние относительной влажности на сопротивление изоляции сети относительно земли в дни исследований

На рис. 6 – 8 а и в представлены графики изменения полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли, полученные на основании измерений, проведенных при нормальной схеме электроснабжения и номинальной нагрузке.

На рис. 6 – 8 б и г показано изменение полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли при нормальной схеме электроснабжения, но минимальной нагрузке, обусловленной технологическими причинами.

Всего было проведено 52 замера, а количество данных, характеризующих окружающую среду, составило 156. Столь малое их число не позволяет сделать обоснованные выводы о влиянии параметров окружающей среды, однако следует отметить влияние нагрузки на исследуемые параметры изоляции.

В дальнейшем целесообразно провести подобные измерения в течение года, что позволит сделать обоснованные количественные выводы о влиянии параметров окружающей среды на сопротивление изоляции фаз карьерной распределительной сети относительно земли.

Для распределительной сети карьера «Гаррор» была разработана и исследована на компьютерной модели система контроля изоляции, основанная на измерении режимных параметров сети.

На рис.9 представлена схема исследования, а в табл. 1 – результаты исследований. Данные исследования свидетельствуют о работоспособности устройства, практическом отсутствии зависимости результатов измерений от несимметрии в сети. Изменения нагрузки в электрической сети оказывают суще-

ственное влияние на результаты контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли. Однако даже при нагрузке в сети 10 % от номинальной величина ошибки не превышает 91 %. По нашему мнению, для такого режима это вполне допустимо.

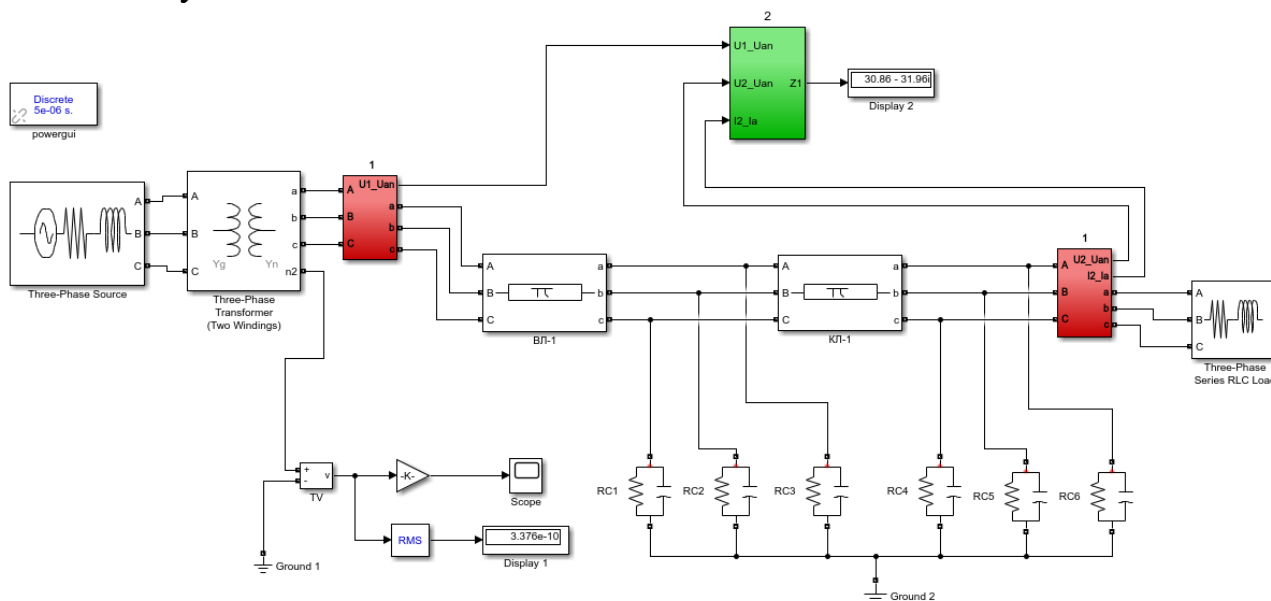


Рис.9 – Схема проверки работоспособности разработанной системы контроля изоляции

Табл. 1 – Результаты исследования работы СКИ на компьютерной модели карьерной распределительной сети (Z_{ϕ} в модели 39,548 к Ом)

Нагрузка в сети, %	Активная нагрузка в сети		Реактивная нагрузка в сети		Полная нагрузка в сети	
	Полученные при измерениях	Погрешность	Полученные при измерениях	Погрешность	Полученные при измерениях	Погрешность
	Z_{ϕ} , кОм	δ , %	Z_{ϕ} , кОм	δ , %	Z_{ϕ} , кОм	δ , %
10	511	-92,2	854,2	-95,4	438,625	-91
20	268	-85,2	422,33	-90,6	220,39	-82
30	172,842	-77,12	280,62	-86	147,177	-73,13
40	129,918	-69,55	210,15	-81,2	110,546	-64,2
50	104	-62	167,9	-76,44	88,522	-55,3
60	86,84	-54,4	139,82	-71,7	73,84	-46,4
70	74,5	-47	119,79	-67	63,337	-37,5
80	65,26	-39,4	104,77	-62,2	55,452	-28,7
90	58,06	-33	93,08	-57,5	49,328	-20
100	52,29	-24,3	83,75	-52,77	44,427	-11
110	47,54	-16,8	76,12	-48	40,41	-2,13
120	43,64	-9,3	69,76	-43,3	37,065	7
130	40,3	-1,8	64,34	-38,5	34,236	15,5
140	37,45	5,6	59,78	-33,8	31,81	24,3

Система контроля изоляции позволяет селективно контролировать несколько десятков таких участков. Опрос участков выполняется циклически и при обнаружении снижения сопротивления изоляции какого-либо участка ниже установленного уровня соответствующая информация появляется на блоке отображения, при дальнейшем снижении – система отключает аварийный участок.

Предлагаемая система контроля сопротивления изоляции сети относительно земли, состоящая из устройства контроля изоляции и устройства автоматического отключения отходящей линии со сниженной изоляцией фаз, обеспечивает минимальную возможность ложного срабатывания устройства отключения и минимальное время перерыва в электроснабжении.

Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в КРС напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью при наличии системы контроля изоляции была проведена с помощью логико-вероятностного метода. Результат оценки показывает, что внедрение в практику разработанной нами системы контроля изоляции обеспечит снижение вероятности возникновения электроопасной ситуации в 20,5 раз. Кроме того, это внедрение одновременно существенно снизит возможное число вызванных ОЗЗ, и обеспечит определенный социально-экономический эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-технической задачи, направленное на повышение безопасности в карьерных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ, заключающееся в разработке методики измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли в КРС напряжением 6 кВ, исследовании и оценки ее точности, а также в разработке системы контроля изоляции для указанных сетей.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы по работе.

1. В результате анализа известных методов определения параметров изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях выявлены их достоинства и недостатки, выполненный анализ методов определения параметров изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6 – 35 кВ показал, что наиболее перспективным и безопасным является косвенный метод измерения, основанный на подключении к одной из фаз дополнительной емкости. Кроме того, дополнительная ёмкость имеет стабильные параметры, не меняющиеся при выполнении измерений.

2. Обоснована и разработана компьютерная модель карьерной распределительной электрической сети напряжением 6 кВ в программной среде Matlab/Simulink, использование которой позволило проанализировать влияние на результаты измерений величины и вида нагрузки, а также наличия и величины несимметрии в сети при проведении измерений, основанных на подключении к одной из фаз сети дополнительной емкости. Сравнительный анализ, результатов полученных на компьютерной модели КРС 6кВ с изолированной

нейтралью, показал, что выбранная нами методика предпочтительнее и может быть использована в КРС при наличии естественной несимметрии, а также изменении величины нагрузки, при этом погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8,3 %.

3. Разработана методика измерения параметров изоляции относительно земли в карьерной распределительной сети с одновременным контролем различных факторов, влияющих на процесс изменения этих параметров.

4. Впервые проведена оценка динамики влияния факторов окружающей среды (температуры воздуха, солнечной радиации и относительной влажности воздуха) на параметры изоляции карьерной распределительной сети относительно земли. Установлено, что на их изменение влияет также величина нагрузки в сети при её неизменной схеме.

5. Для повышения безопасности КРС напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью разработана система непрерывного контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли, основанная на измерении режимных параметров. Внедрение указанной системы контроля изоляции обеспечит уменьшение вероятности возникновения электроопасной ситуации не менее чем в 20,5 раз.

6. Результаты исследований внедрены в службе по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан, в карьерных распределительных сетях ООО СП «Зеравшан», а также в учебном процессе на кафедрах «Электрообеспечение и электробезопасность» и «Релейная защита» Института энергетики Таджикистана, на кафедрах «Безопасность жизнедеятельности и экология» и «Релейная защита и автоматика» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, на кафедре «Электроснабжения» Горно-металлургического института Таджикистана и кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) при изучении соответствующих курсов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в периодических научных изданиях, включённых в перечень ВАК Минобрнауки РФ (для спец. 05.26.01):

1. Сидоров, А.И. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24–29. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-24-29.

2. Сидоров, А.И. Исследование косвенных методов определения параметров изоляции на компьютерной модели [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев**, Ю.В. Медведева, Ш.С. Саъдуллозода // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2021. – № 1. – С. 47–54. – DOI 10.25558/VOSTNIИ.2021.32.20.005.

3. Сидоров, А.И. Анализ травматизма в горнодобывающей отрасли Республики Таджикистан [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев**, М.Т. Гулов, Х.Т. Тилабов, Ш.С. Саъдуллозода, Р.Т. Абдуллозода // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2021. – № 3. – С. 70–79. – DOI 10.25558/VOSTNI.2021.54.89.008.

Публикации в других периодических научных изданиях, включённых в перечень ВАК Минобрнауки РФ:

4. **Бобоев, Х.Д.** Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 29–37. – DOI 10.14529/power210103.

5. **Бобоев, Х.Д.** Организация контроля изоляции в распределительной сети карьера «Таррор» [Текст] / Х.Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И.Л. Кравчук // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 57–65. DOI: 10.14529/power210407.

Публикации в изданиях, входящих в систему цитирования Scopus и Web of Science:

6. **Boboev, K.** Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan [Text] / K. Boboev, A. Sidorov, O. Khanzhina // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, (UralCon), 2020, pp. 344–348. – DOI 10.1109/UralCon49858.2020.9216311.

7. **Boboev, K.** Evaluation of Indirect Methods for Determining the Isolation Parameters of the Network Phases Relative to the Ground on a Computer Model [Text] / K. Boboev, A. Sidorov, A. Davlatov // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, pp. 556–560, doi: 10.1109/UralCon52005.2021.9559538.

Другие научные публикации:

8. **Бобоев, Х.Д.** Значение изоляции в обеспечении электробезопасности в сетях напряжением до 1000 В горнодобывающих предприятий [Текст] / Х.Д. Бобоев // Казанские научные чтения студентов и аспирантов им. В.Г. Тимирязева - 2018: материалы международ. научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 25-летию образования университета, Казань, 21 декабря 2018 года. – Казань: Издательство "Познание", 2019. – С.174–175.

9. Сидоров, А.И. Характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Челябинск, 03–04 октября 2019 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ (НИУ), 2019. – С. 166–169.

10. **Бобоев, Х.Д.** Анализ методов контроля изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ [Текст] / Х.Д. Бобоев // Техносферная безопасность в XXI веке: сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Иркутск, 26–27 ноября 2019 года. – Иркутск: ИРНТУ, 2019. – С. 234–239.

11. **Бобоев, Х.Д.** Величины сопротивлений, образующих цепь включения человека в карьерную электрическую сеть напряжением 380 В [Текст] / Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов V Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т., Челябинск, 25–26 апреля 2019 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ (НИУ), 2019. – С. 27–31.

12. **Бобоев, Х.Д.** Анализ поражений электрическим током в сетях напряжением до 1000 В горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев, И.Т. Абдуллоев // Научно-технические ведомости Севмашвуза. – 2019. – № 3. – С. 4–8.

13. Абдуллоев, И.Т. Обеспечение электробезопасности при использовании кабельных линий для питания электрифицированных горных машин [Текст] / И.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллозода, **Х.Д. Бобоев** // Научно-технические ведомости Севмашвуза. – 2019. – № 3. – С. 9–11.

14. Сидоров, А.И. Оценка косвенных методов контроля изоляции в карьерных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика: материалы национальной научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 10–13 марта 2020 года / Под редакцией С.А. Гриценко. – Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2020. – С. 166–171.

15. Сидоров, А.И. Анализ методов исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением 6 кВ [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Экология. Риск. безопасность: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Курган, 29–30 октября 2020 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2020. – С. 273–275

16. Сидоров, А.И. Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Научный поиск: материалы двенадцатой научной конференции аспирантов и докторантов, Челябинск, 17–19 марта 2020 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ (НИУ), 2020. – С. 18–23.

17. Сидоров, А.И. Исследование параметров изоляции сетей с изолированной нейтралью [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Развитие энергетики и возможности: материалы международной научно-практической конференции, Кушониён, 22 декабря 2020 года, ИЭТ, 2020. – С. 19–22.

18. **Бобоев, Х.Д.** Характеристика сопротивления изоляции в электрических сетях Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи : Сб. материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т., Челябинск, 22–23 апреля 2021 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ (НИУ), 2021. – С. 25–29.

19. **Бобоев, Х.Д.** Определение параметров изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ [Текст] / Х.Д. Бобоев // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 12–16 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 177–178.

20. **Бобоев, Х.Д.** Сравнительный анализ различных методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в программной среде MATLAB/Simulink [Текст] / Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т., Челябинск, 22–23 апреля 2021 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ (НИУ), 2021. – С. 22–24.

21. Сидоров, А.И. Компьютерная модель карьерной распределительной сети [Текст] / А.И. Сидоров, **Х.Д. Бобоев** // Безопасность технологических процессов и производств: Труды III Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 26 мая 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. – С. 85–87.

22. **Бобоев, Х.Д.** Анализ и оценка косвенных методов определения параметров изоляции сетей напряжением выше 1000 В [Текст] / Х.Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 10. – С. 46–50.

23. **Бобоев, Х.Д.** Общая характеристика сопротивления изоляции относительно земли в сетях напряжением 6–10 кВ Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев, А.М. Давлатов, Б.И. Косимов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 10. – С. 51–54.

24. **Бобоев, Х.Д.** Обзор методов и средств поддержания состояния изоляции распределительных электрических сетей [Текст] / Х.Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 46–50.

Дальнейшее развитие результатов, полученных в диссертационной работе, предполагается в следующих направлениях:

- *установление закономерностей в изменении параметров карьерной распределительной сети относительно земли при различных параметрах окружающей среды;*
- *внедрение в опытную эксплуатацию разработанной системы контроля изоляции и её совершенствование на основе накопленного опыта.*

БОБОЕВ Хуршедшох Давлаталиевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать ____ .. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ ____.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. Ленина, 76.