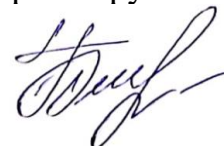


Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



БОБОЕВ Хуршедшох Давлаталиевич

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук
профессор **Сидоров А.И.**

Челябинск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Общая характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан	12
1.2 Характеристика распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан	21
1.3 Обеспечение электробезопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан.....	28
1.4 Анализ травматизма в горнодобывающей отрасли Республики Таджикистан	34
1.5 Задачи исследования.....	39
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	41
2.1 Оценка общепринятых методов исследования параметров изоляции распределительных электрических сетей относительно земли	41
2.2 Требования к методике исследования параметров распределительных электрических сетей	57
2.3 Методика исследования параметров распределительных электрических сетей.....	61
2.4 Выводы	67
3 АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	68
3.1 Разработка компьютерной модели распределительных электрических сетей.....	68

3.2	Определение параметров компьютерной модели распределительной электрической сети	70
3.3	Проверка адекватности разработанной компьютерной модели	78
3.4	Исследование погрешностей в определении параметров распределительных электрических сетей на разработанной модели	81
3.5	Выводы	92
4	ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	94
4.1	Характеристика объекта исследований	94
4.2	Исследование параметров распределительных электрических сетей ...	99
4.3	Разработка и исследование системы контроля изоляции для карьерных распределительных сетей СП «Зеравшан».....	110
4.4	Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в карьерных распределительных сетях.....	118
4.5	Выводы	121
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	124
	ПРИЛОЖЕНИЯ	144

ВВЕДЕНИЕ

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 достигает 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, основанные 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 справками.

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 научной-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» (ИРНИТУ, 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, EECSE - 2019, (PPU, Saint-Petersburg, 19-20 November, 2019); The 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.); Национальной научной конференции «Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика» (ЮУрГАУ, г. Челябинск, 17 февраля 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Развитие энергетики и возможности» (ИЭТ, г. Кушониён, 22 декабря 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 22 научные работы, в том числе 3 статьи в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, (для спец. 05.26.01), 1 статья в других изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 публикации, индексируемые в базе Scopus/ Web of Science, 4 – 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, 172 наименование 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 «Зеравшон» (г. Пенджикент), за оказанную помощь при проведении исследований в распределительных электрических сетях карьера «Таррор».

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределительные электрические сети горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан (РТ) эксплуатируются в тяжелых климатических условиях: высокие летние температуры, пониженное атмосферное давления, значительное количество осадков в весенние месяцы, запыленность, повышенная солнечная радиация, и т. д., оказывающие существенное влияние на состояние изоляции. Кроме того, оборудование самих сетей, электрифицированных горных машин подвергаются значительным механическим воздействиям при проведении взрывных работ, при перемещении фронта работ и т. п.

Электрическая изоляция, являясь одним из основных конструкционных материалов, обеспечивает как надежность и долговечность электрооборудования, так и безопасное применение электроэнергии при ведении открытых горных работ. Вместе с тем статистические исследования [14, 74, 124] о надежности изоляции показывают, что она, как элемент изделия, обладает невысокой надежностью.

В процессе эксплуатации горнодобывающей техники изоляция подвергается следующим воздействиям: электрическим, тепловым, механическим, факторам окружающей среды и др. [11, 16, 90, 117, 136, 161]. Все вместе указанные факторы вызывают старение изоляции.

Известно, что параметры изоляции электроустановок не являются стабильными во времени. Снижение изоляционных свойств из-за старения материалов в условиях эксплуатации происходит не только под воздействием факторов окружающей среды, но и в результате электрических процессов, протекающих в электрических сетях [74].

Поэтому и сегодня актуальной является задача обеспечения контроля за состоянием изоляции и своевременное обнаружение и устранение дефектов изоляции до их перерастания в междуфазные и многоместные замыкания на землю. Выполнение этой задачи позволит предотвратить возникновение опасных

ситуаций и обеспечить надлежащие условия электробезопасности при ведении горных работ.

Значительный вклад в теоретические и экспериментальные исследования в области контроля изоляции внесли такие ученые, как Белых Б.П., Гладилин Л.В., Меньшов Н.И., Колосюк В.П., Лейбов Р.М., Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Чеботаев Н.И., Калинин Э.В., Соболев В.Г., Цапенко Е.Ф., Бендяк Н.А., Заславец Б.И., Глухарев, Ю. Д., Бараш М. И., Дюкарев И. А., Буленов Ж. Б., Сидоров А. И., Петров Г. М. Утегулов Б. Б., Шкрабец Ф. П., Усманов Х. М., Рахимов О. С., Нажметдинов Ш. Г., Иноятов М. Б. и другие.

Однако говорить о решении проблемы в полном объеме было бы преждевременно.

1.1 Общая характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан

Республика Таджикистан является типичной горной страной Центральной Азии с абсолютными высотами от 300 до 7495 м, 93% территории РТ занимают горы. Характерными особенностями территории РТ являются засушливость климата, обилие тепла и значительная внутригодовая изменчивость практически всех климатических элементов. Климат континентальный, со значительными суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха, различным количеством осадков по территории РТ, сухостью воздуха и малой облачностью.

Среднегодовые температуры, в зависимости от высоты расположения местности, в январе колеблются от +2 до -2°С в долинах и предгорьях юго-запада и севера РТ, до -20°С и ниже на Памире. Абсолютный максимум температуры составляет 48°С (Нижний Пяндж). Максимум температуры наблюдается в июле, минимум в январе [92].

Республика Таджикистан имеет свои уникальные запасы полезных ископаемых и сырья, включая ртуть, золото, уголь, серебро, нефть, газ, каменную

соль, свинец, сурьму, цинк и др. [3, 39, 58, 133]. На рисунке 1.1 представлена карта полезных ископаемых РТ.

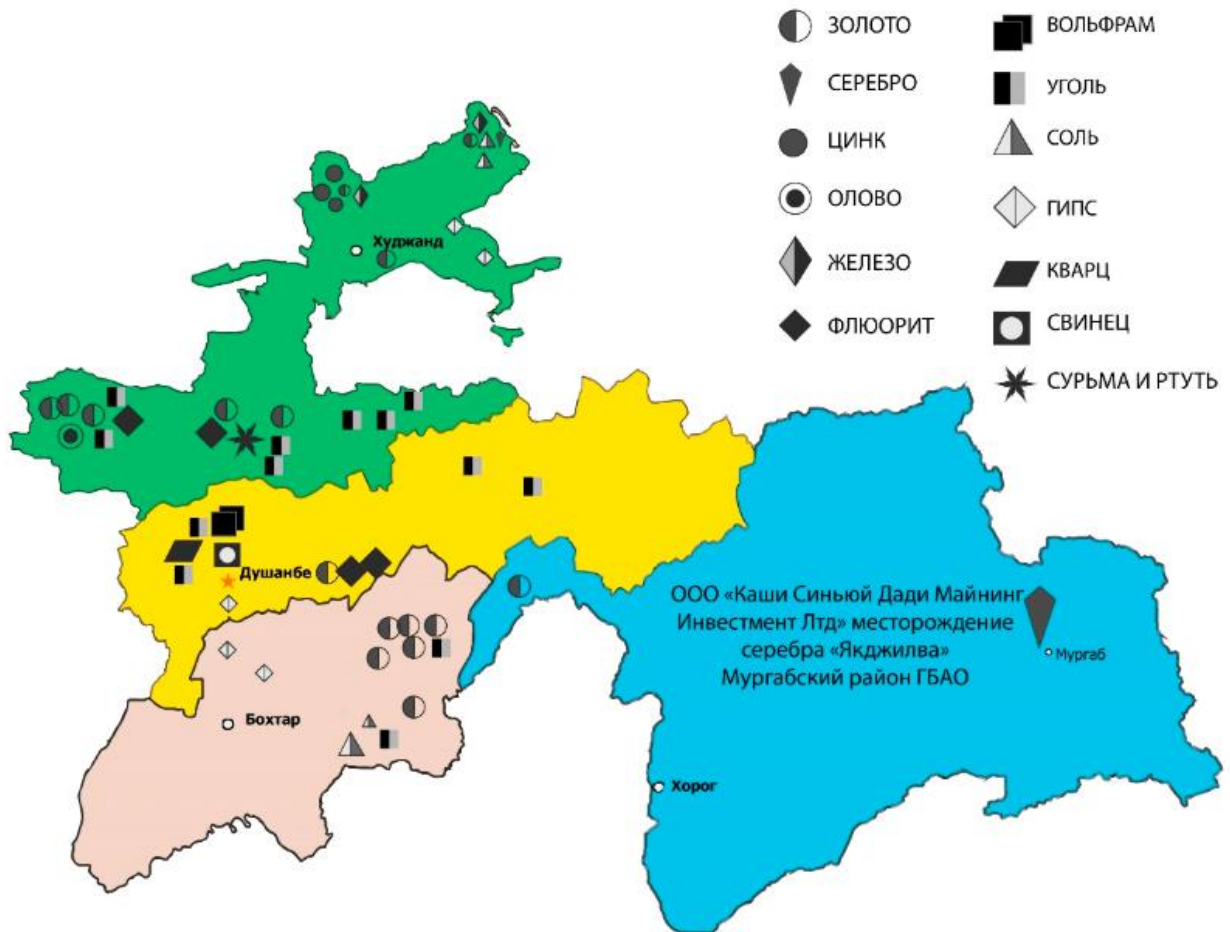


Рисунок 1.1– Карта полезных ископаемых Республики Таджикистан

Согласно данным Министерства промышленности и новых технологий (МПНТ) в РТ на данный момент более 300 предприятий получили лицензии на добычу полезных ископаемых [39, 111, 165]. В таблице 1.1, приведены количество предприятий и виды добываемых ими полезных ископаемых в РТ.

В настоящее время в РТ разведано более 600 месторождений и эксплуатируются около 100 месторождений, на которых добываются более 50 видов минерального сырья: топливные, рудные и нерудные ископаемые [39, 144].

Крупнейшими предприятиями Таджикистана, осуществляющими деятельность в горнодобывающей отрасли, являются компании: Совместное

предприятие (СП) ООО «Зеравшан»; Совместное Таджикско-Канадское предприятие (СТКП) ООО «Апрелевка»; Государственное казённое республиканское предприятие (ГКРП) «Тиллои Тоджик»; ООО «Пакрут»; ООО «Талко Голд»; ООО «ТВЕА Душанбе горная промышленность»; Таджикско-американское совместное предприятие (ТАСП) ООО «Анзоб»; ОАО «Адрасманский ГОК» и другие. (таблица. 1.2).

Таблица 1.1 – Количество горнодобывающих предприятий РТ, добывающих те или иные виды полезных ископаемых

№	Полезные ископаемые	Количество предприятий
1	Кварцевый песок	6
2	Уголь	11
3	Соль	11
4	Драгоценные металлы	13
5	Цветные металлы	17
6	Нефть и газ	18
7	Облицовочные камни	26
8	Каменный гипс и известняк	27
9	Суглинок	77
10	ПГС (песчано-гравийная смесь)	96

Состояние, перспективы развития и освоения различных групп полезных ископаемых характеризуются следующим образом.

В золоторудной отрасли РТ добычей занимаются более 10 предприятий. В РТ выделяются три золоторудных региона – Кармазар, Южный Тяньшань и Памир. Основные месторождения, в которых сосредоточены основные балансовые запасы, расположены на территории Центрального Таджикистана (Таррор, Джилау, Чоре, Дуоба и др. [21, 96, 133, 165]).

Таблица 1.2 – Крупнейшие горнодобывающие предприятия Республики Таджикистан

№	Наименование предприятий	Месторождение, рудопроявление	Полезные ископаемые	Страна, доля (%)		Разработка месторождения
1	ООО СП «Зеравшан»	- Джилав - Таррор - Олимпийский - Хирсхонаи северный	Основные-золото, серебро, медь; Попутные - висмут, селен, теллур	Государственная и частная (Китай, 70 %)	Государственная (РТ, 30 %)	Открытым способом
2	СТК ООО «Апрелевка»	- Бургунда - Кызыл-Чеку - Апрелевка - Икиджелон	Золото с попутным серебром	Частная (Канада, 49%)	Государственная (РТ, 51%)	Открытым способом / подземным способом
3	ЗОО «ТАЛКО Голд»	- Канчоч - Скальное - Чулбои	Основные-золото, сурьма; Попутные - серебро, ртуть, флюорит	Частная (Китай, 50%)	Государственная (РТ, 50%)	Подземным способом
4	ООО «Хуаксин гаюр Цемент»	-Яван	Известняк, суглинок	Частная (Китай, 75%)	Частная (РТ, 25 %)	Открытым способом
5	ГКРП «Тиллои Таджик»	- Яхсу - Дондушкан - Сафеддара	Золото с попутным серебром	Государственная (РТ, 100%)		Открытым способом
6	ТА ООО СП «Анзоб»	- Джижикруд	Сурьма и ртуть	Частная (США, 100%)		Подземным способом
7	ОАО «Такобский ГОК»	- Майхура	Свинец и вольфрам	Государственная РТ, 100%		Подземным способом
8	ОАО «Адрасманский ГОК»	- Западный конимансур - Восточный конимансур	Свинец и серебро	Государственная РТ, 100%		Открытым способом / подземным способом
9	ООО «Пакрут»	- Покрут	Золото	Частная (Британия, 100%)		Подземным способом
10	ООО «Таджико-Китайская горнопромышленная компания»	- Зарнисори северный - Пайбуллоқ	Свинец и цинк	Частная (Китай, 100%)		Подземным способом
11	ООО «ТВЕА Душанбе горная промышленность»	- Восточный Дуоба - Верхний Кумар	Золото	Частная (Китай, 100%)		Открытым способом

Продолжение таблицы 1.2

№	Наименование предприятий	Месторождение, рудопроявление	Полезные ископаемые	Страна, доля (%)		Разработка месторождения
12	ООО «Талко Флюорит»	- Кули Калон - Казноки - Магов - Майхура	Флюорит	Частная (Британия, 51%)	Частная (Китай, 49%)	Открытым способом
13	СООО «Петролеум Сугд»	- Ниезбеки северный -Карачикум -Маъданият, - Канибадам - Махрам и др.	Нефть и газ	Частная (Австрия, 57,42%)	Частная (РТ, 42,58%)	Скважным
14	ККМ Такоб	- Теппахои сурх - Такоби маркази - Сурб	Свинец и вольфрам	Государственная РТ, 100%		Открытым способом / подземным способом
15	ОАО «Ангишттаджик»	- Зидди	Уголь	Государственная РТ, 100%		Открытым способом
16	ГУП «Ангишт»	- Шуроб	Уголь	Государственная РТ, 100%		Подземным способом
17	Шахта «Фон-Ягноб»	- Фон Ягноб	Уголь	Государственная РТ, 100%		Открытым способом / подземным способом
18	ОАО «Джамаст»	- Патру	Мрамор и известняк	Государственная РТ, 100%		Подземным способом
19	Алтын-Топканское рудоуправление	- Алтын-Топкан - Чал-Ата - Сардоб - Пай-Булак - Чашлы - Перевальное и др.	Полиметалл, свинец и цинк	Китай, 100%		Открытым способом / подземным способом
20	ООО «Алмос 17»	- Турон	Железа	Частная (РТ, 100%)		-
21	ООО «Шимшо»	- Кофирбача - Обиравнов	Золото	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
22	ОАО «Цементи Таджик»	- Шар-Шар	ГИПС	Государственная РТ, 100%		Открытым способом

Окончание таблицы 1.2

№	Наименование предприятий	Месторождение, рудопроявление	Полезные ископаемые	Страна, доля (%)		Разработка месторождения
				Частная (Китай, 49%)	Государст. (РТ, 30%)	
23	ООО «Талко Ресурс»	- Фон Ягноб (Конте)	Уголь	Частная (Китай, 49%)	Государст. (РТ, 30%)	Подземным способом
24	ООО «Кудрат 2010»	- Гузн	Уголь	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
25	ООО «Нахш»	- Ехсу	Золото	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
26	ФТ ООО «С.А.Минералз»	- Якджилав	серебро	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом / подземным способом
27	ООО «Вохидиен»	- Харангон	Магнит	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
28	ФЧООО «Си Эн Пи Си Централ Эйжа Б.В.»	-	Уголь	Частная (Китай, 100%)		Открытым способом
29	ООО «Намакдон»	- Ходжамумин	Соль	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
30	ООО «Зоир А»	- Эмомтаъри	Соль	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
31	ООО «Иттифокчиен»	- Ходжамумин	Соль	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом
32	ОАО «Сугднафтугаз»	- Южный Патар - Рават-Северный Патар - Оби Шифо - Ниёзбек	Нефть и газ	Государственная РТ, 100%		Скважным
33	ОАО «Нафту газ»	- Северный Пушион	Нефть и газ	Государственная РТ, 100%		Скважным
34	Дочернее предприятие Угольная шахта «Ангишти Шурообод»	- Шурообод	Уголь	Государственная РТ, 100%		Открытым способом
35	Дочерняя предприятие Угольная шахта «Ангишти Истиклол»	-	Уголь	Государственная РТ, 100%		Подземным способом
36	ОАО «Одина»	- Зидди	Золото	РТ, 100%		Открытым способом
37	ООО «Кулла»	- Табоспин	Золото	Частная (РТ, 100%)		Открытым способом

Согласно данным МПНТ РТ [39], основное производство золота осуществляется компаниями: ООО СП «Зеравшан» (60%), СТКП ООО «Апрелевка» (14%), ГКРП «Тиллои Таджик» (15,2%), артель старателей «Одина» (7,6%). Другими компаниями (артель старателей «Памир», ООО «Кофтукови Ганч», ООО «Такон-Голд», ООО «Союз-Зар», ООО «Абдулазиз», ООО «Назири», ООО «Баракати Истиклол») (3,2%).

В Центральной Азии (ЦА) РТ является крупнейшим регионом серебрянорудных месторождений. Обнаруженные и прогнозные запасы серебра составляют более 100 тысч. тонн [39, 133]. В основном, они сосредоточены на севере страны в горнорудном Кармазар, где расположены полиметаллические месторождения – Большой Конимансур, Конимансур, Карджол и другие медно-висмутово-серебряные месторождения – Алмадон, Конимансур (нижние горизонты и др. [96, 133]. В настоящее время самым крупными серебрянорудными предприятиями в Таджикистане являются: СТКП ООО «Апрелевка» (60,5%) и ООО СП «Зеравшан» (37,8%)¹

РТ богата углями, залегающими в различных частях ее территории. Здесь находится 22% запасов каменного угля ЦА [133]. В настоящее время обнаружено более 40 различных месторождений угля (каменный, бурый, антрацит) [2, 125]. В Республике Таджикистан имеется 4 угледобывающих района, каждый из которых характеризуется рядом особенностей геологического районирования: (Зеравшано-Гиссарской, Южно-Гиссарский, Памиро-Дарвазский, Южно-Ферганский), Крупнейшие месторождения угля в Таджикистане – это Шураб, Фан-Ягноб и Назараилок [125].

По данным МПНТ РТ добычей угля в Республике занимаются 14 предприятий: Шахта «Фон-Ягноб», (57,7%); ООО «Талко-Ресурс» (13,1); Угольная шахта ГУП «Ангишти Зидди» (11,28%); ОАО «Ангиш» (5,6%); Угольная шахта «Назар-Айлок» (5%); ООО «Сайд» (3,2%); 4,2 % - остальные предприятия [3, 96].

В таблице 1.3 показаны виды и суммарные прогнозные запасы угля в Республике Таджикистан [96, 125].

Таблица 1.3 – Виды и суммарные прогнозные запасы угля в Республике

№	Виды угля	Запас угля
1	каменные угли	2292,7 млн. тонн
2	коксуемые угли	904,9 млн. тонн
3	антрацит	254,8 млн. тонн
4	бурые угли	144,5 млн. тонн
5	всего	4366,5 млн. тонн

Таджикистан является одной из ведущих стран мира по запасам свинцовых и цинковых руд. Более 90% этих запасов сосредоточено в Кармазарском рудном районе. На данный момент общие балансовые запасы в 16 месторождениях РТ составляют более 10 млн тонн свинца и примерно столько же цинка. Крупнейшие месторождения свинца и цинка – Большой Конимансур и Алтынтопкан, большая часть которых может быть извлечена открытым способом. Самыми крупными свинцово-цинковым предприятиями в Таджикистане являются ОАО «Адрасманский ГОК», ООО «Таджико-Китайская горнопромышленная компания», ТАСП ООО «Анзоб», ОАО «Такобский ГОК» [96].

Республика Таджикистан занимает третье место в Азии и первое среди стран СНГ по запасам сурьмы. Значительные запасы этой руды расположены в месторождениях «Джизжикруд» и «Канчоч». Кроме того, имеются запасы меди (Алтын-Топкан, Майхура, Конимансур и др.), висмута (Кармазар), вольфрама (Майхура), олова (Мушкистон, Секулла, Пасируд и др.), железа (Шохкадамбулок), нефти и газа (СООО «Петролеум Сугд» 56,28%; ГУП «Нафту газ» 26%, компания «Куляб Петролеум Лимитед» 8,71%, ЗАО «Хасан и К» 0,83%). Каменный гипс (Карши-Той, Кизил –пила и др.), известняк (Джартеппа, Бахт, Чашмаи шим и др.), Суглинок (Араб, Вогат и др.), кварцевый песок (Такоб, Кургончи и др.), песчано-гравийная смесь (Пахтакор, Туя-Бугуз и др.), соль (Ходжа-Мумин, Камишкургон и др.), облицовочный камень (Зеврон, Кухак и др.) и другие [39, 96].

В таблице 1.4 показаны характеристики минерально-сырьевых ресурсов РТ по регионам [39].

Таблица 1.4 – Характеристики минерально-сырьевых ресурсов РТ по регионам

№	Регион	Описание
1	Согдийская область	Выявлены месторождения молибдена и вольфрама, висмута, свинца и цинка, сурьмы, стронция, железа, олова, золота, серебра, , ртути, каменных углей, нефти и газа, строительного камня, каменных солей, флюорита, и других видов минерального сырья для стройиндустрии, пресных, минеральных, термальных и промышленных подземных вод, озокерита и ювелирных камней
2	Хатлонская область	Открыты месторождения различных видов минерального сырья - нефти и газа, поваренной соли, строительных материалов, сырья для производства цемента, минеральных и горячих вод, свинцово-цинковых руд, стронция, россыпного золота и ряда других которые в той или иной степени используются в промышленности РТ
3	Горно-Бадахшанская автономная область	Перспективные рудопроявления 23 видов полезных ископаемых, в том числе железа, марганца, меди, коренного золота, олова, вольфрама, высокоглиноземного сырья, а также глин для производства кирпича, цементного сырья, перспективные рудопроявления серебра, крупнейшее месторождение боросиликатного сырья, соли, молибдена, висмута, асбеста, сырья для производства извести, сырья для производства аглопорита, бесцементных вяжущих, керамзита, песчано- гравийной смеси и песка. Кроме того, на территории области имеются многочисленные минеральные и термальные воды
4	Районы республиканского подчинения	Выявлены месторождения полезных ископаемых-сырьё для производства цемента, строительные материалы, минерализованные и горячие воды; месторождения хрусталеносных и оловоносных пегматитов, железа, вольфрама, олова, золота, свинца, цинка, флюорита, радиоактивных руд, алюминия, фосфоритов, огнеупорных глин, кварцевых песчаников, углей, и ряда других. Многие из перечисленных видов полезных ископаемых служат сырьевой базой для действующих горно-обогатительных и других промышленных предприятий

Анализ состояния горнодобывающей промышленности за последние годы показывает, что Республика Таджикистан располагает значительными сырьевыми ресурсами, что позволяет в перспективе не только повысить эффективность базовой отрасли промышленности, но и осуществить структурную реорганизацию экономики в целом.

1.2 Характеристика распределительных электрических сетей горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан

Согласно [57, 102], электрической сетью называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, размещенных на определенной территории.

Распределительные сети предназначены для питания трансформаторных подстанций, отдельных электроприемников или их групп [42, 66], и имеют, как правило, при напряжении до 1 кВ изолированную или заземленную нейтраль, от 1 кВ до 35 кВ изолированную нейтраль и выше 35 кВ – заземленную.

В настоящее время электроэнергетическая система РТ находится в ведении открытой акционерной холдинговой компании (ОАХК) «Барки Таджик» и, согласно концессионному договору, энергосистема ГБАО находится в подчинении «Памир энерджи».

Обеспечение электроэнергией в РТ осуществляется, в основном, ОАХК «Барки Таджик». Для этого используются гидравлические электростанции (14 станций), передача энергии от которых осуществляется по линиям напряжением 0,4-500 кВ.

Согласно данным [131] суммарная протяженность воздушных линий 0,4-500 кВ по направлению составляет 60802,74 км (95,05%), по цепям 63086,1 км, а протяженность кабельных линий 0,4-35 кВ – 3416,2 км (4,95%).

Внешнее электроснабжение горнодобывающих предприятий Республики осуществляют по схеме «глубокий ввод», то есть, применяются системы электроснабжения с приближением напряжения (35 – 110 кВ) к потребителям для уменьшения ступеней трансформации электроэнергии. Выбор напряжения питающих линий проводят на основании технико-экономических сравнений вариантов с разными напряжениями по приведенным затратам, расходу цветных металлов и пр.

Питание электроэнергией горнодобывающих предприятий, в основном, осуществляется от районных подстанций энергосистемы. Система внутреннего электроснабжения карьера представляет собой совокупность главных понизительных подстанций (ГПП), распределительных пунктов (РП) и распределительных сетей (РС).

Карьерные распределительные сети – это, прежде всего, воздушные и кабельные линии, которые могут быть либо стационарными, либо передвижными, а также трансформаторные подстанции различного типа, пункты подключения и другие установки [161, 164].

По своему исполнению КРС делятся на радиальные, магистральные и радиально-магистральные.

Радиальные схемы могут быть: одноступенчатыми, когда экскаваторы и ПКТП питаются непосредственно от воздушной или кабельной линии через ГПП (ЦРП) (рисунок 1,2 а) и б)); двухступенчатыми с применением промежуточных РП (на два напряжения – 35 и 6 кВ) (рисунок 1,2 в)), и с установкой трансформаторных подстанций (ПКТП) (рисунок 1.2 г)).

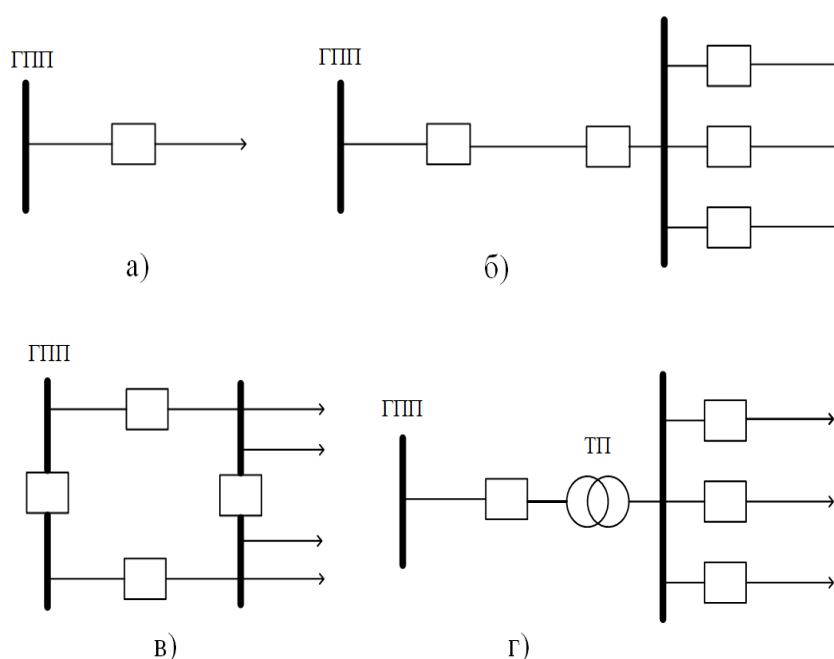


Рисунок 1. 2 – Радиальные схемы распределительных электрических сетей

Магистральные схемы выполняются одиночными магистралями с односторонним питанием от одной ГПП (рисунок 1.3 а) или с двусторонним питанием (рисунок 1.3 б), а также кольцевыми магистралями с односторонним питанием (рисунок 1.3 в) или с двусторонним питанием (рисунок 1.3 г).

Как правило, магистральные ВЛ с двусторонним питанием и кольцевые магистральные ВЛ с односторонним питанием разделяются на 2-3 участка с установкой секционных разъединителей типа РЛН-6 или ячеек типа РВНО, ЯКНО, КРН,

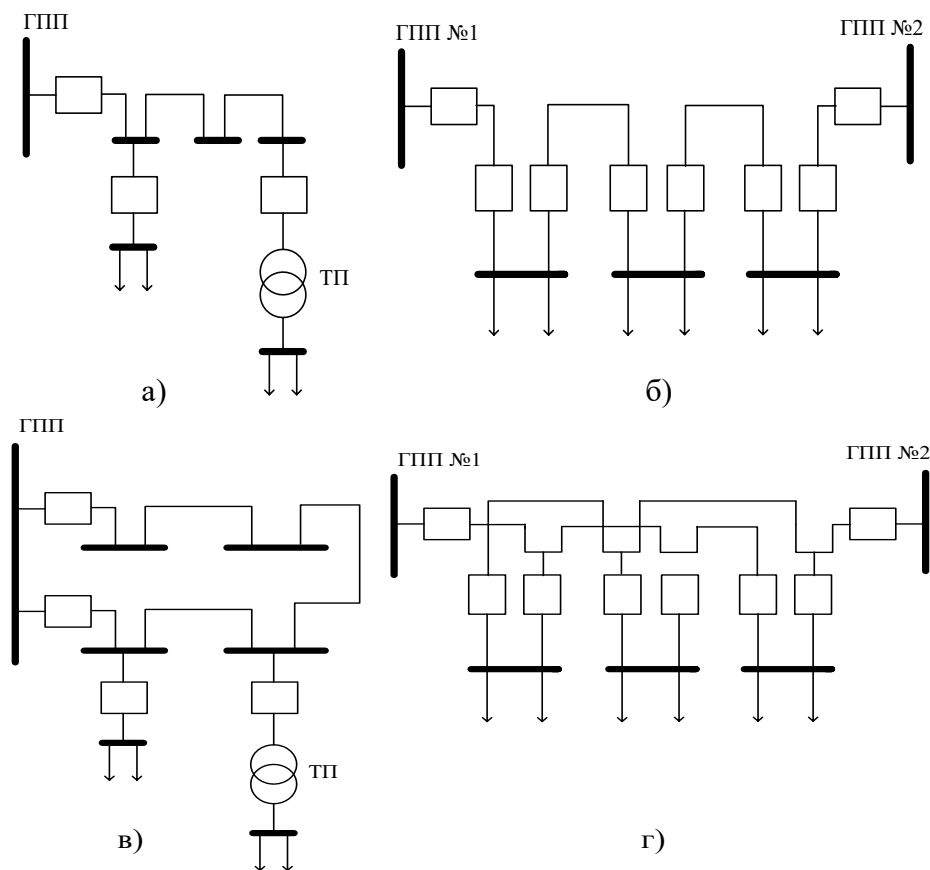


Рисунок 1.3 – Магистральные схемы распределительных электрических сетей

Смешанные схемы питания, сочетающие принципы радиальных и магистральных систем распределения электроэнергии, имеют наибольшее распространение на крупных объектах [67]. На рисунке 1.4 представлена схема смешанной распределительной электрической сети (радиальная с резервированием магистралью и магистрали).

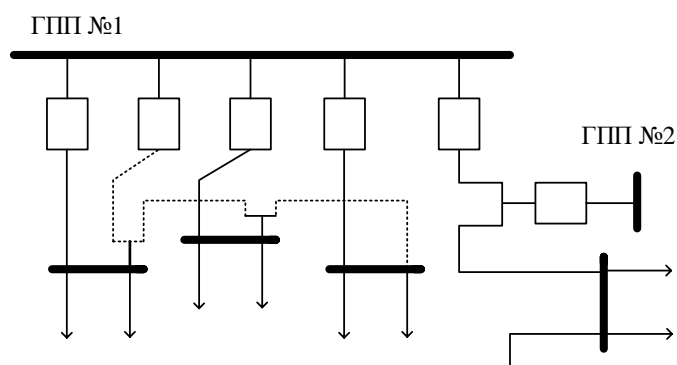


Рисунок 1.4 – Смешанная распределительная электрическая сеть

Электроснабжение карьеров имеет ряд особенностей, обусловленных технологией ведения горных работ и специфическими условиями эксплуатации электрооборудования и электрических сетей [106, 160]:

- подверженность изоляционных конструкций действию разнообразных сочетаний температуры воздуха, осадков (влажности), солнечной радиации;
- значительная площадь, большая глубина и уступная форма разработок;
- рассредоточенность оборудования по всей территории и глубине разработок;
- систематическое изменение места нахождения в карьере различных электрифицированных машин;
- широкое ведение взрывных работ, что создает опасность повреждений машин и установок;
- применение мощных электрифицированных горных машин;
- сезонность нагрузки;
- нахождение работников в зонах повышенного риска.

Выбор и построение схемы зависит от формы, площади и глубины карьеров, устойчивости бортов, способа разработки, количества и мощности оборудования, технологии работ, горно-геологических условий и ряда других факторов. В настоящее время на горнодобывающих предприятиях наибольшее распространение получили смешанные схемы распределительных сетей [10, 13, 49, 80, 159, 162].

В настоящее время, в связи с развитием электрических систем Республики, электроснабжение карьеров осуществляется от районных подстанций (РПС) систем по воздушным и кабельным линиям. Так как на некоторых карьерах имеются потребители 2-й категорий, то число линий должно быть не менее двух. На некоторых карьерах в зависимости от величины электрических нагрузок и числа ГПП или РП сооружают две питающие линии и более. Величина напряжения питающих линий от РПС до подстанции карьеров составляет от 6 до 220 кВ.

На карьерах с небольшой установленной мощностью электроприемников и близко расположенных от РПС сооружают распределительные пункты напряжением 6 кВ. Питание РП небольших карьеров, на которых работают два-три экскаватора, то есть имеют потребителей только 3-й категории, осуществляется по одноцепной стационарной воздушной или кабельной линии напряжением 6 кВ.

На всех карьерах распределительные сети напряжением 6 кВ имеют большую разветвленность, что вызывает необходимость применения большого числа приключательных пунктов и секционных разъединителей.

На основании данных ряда предприятий Республики Таджикистан воздушные линии напряжением 6 кВ выполнены проводом АС- 70, А- 50 и А-35 на деревянных передвижных опорах с железобетонными подложками и кабельные линии КШВГ, ААШВ, КГ и ЭКГ.

Подключение высоковольтных потребителей карьера (экскаваторы) к внутрикарьерным ВЛ 6 кВ предусмотрено через передвижные переключательные пункты типа ЯКНО. Передвижные комплектные подстанции, расположенные в карьере, запитываются также от внутрикарьерных ВЛ-6 кВ. На передвижных подстанциях установлены распределительные устройства РУ-380 [21, 23, 111, 165].

В таблице 1.5, показаны характеристики ряда РЭС ГДП РТ 6 кВ, с указанием рельефа местности, марки и сечения, длины линий, температуры окружающей среды и основных нагрузок.

Таблица 1.5 – Характеристика распределительных сетей ряда горнодобывающих предприятий РТ

Тип и длина линий, км	Марка и сечение линий, мм ²	Основные источники питания	Рельеф местности	Средняя температура, °С	Основные нагрузки
ООО СП «Зеравшан»					
ВЛ – 15,6	4хА50	От п/с «Джилав», От п/с «Таррор»	Долинный и горный	от минус 1 до плюс 35	Экскаватор – BONNY БС – Sunward, Освещение карьера
КЛ – 4,1	КГЗх35+1х10				
СТК ООО «Апрелевка»					
ВЛ – 30,62	4хА50	От районной п/с, От п/с «Кансой» От п/с «Курчин», От п/с «Апрелевка»	Долинный и горный	от минус 6 до плюс 30	ЭКГ-5А, СБШ, СБУ, Дробилка – ШКД, Насос – ЦНС, Компрессор – ВП Освещение карьера
КЛ – 2,95	ЭКГЗх35+1х10				
ГКРП «Тиллои Тоджик»					
ВЛ – 16,8	4хА70 4хА50	От п/с «Шугноу»	Долинный и горный	от минус 3 до плюс 35	ЭКГ-5А, СБШ Насос – ЦНС, Освещение карьера
КЛ – 0,9	КШВГ3х16+1х10				
ОАО «Такобский ГОК»					
ВЛ – 2,5	3хА50	От п/с «Такоб»	Долинный и горный	от минус 5 до плюс 20	ШАХТА
КЛ – 0,14	КГШЭ 3х25+1х10				
Шахта «Фон-Ягноб»,					
ВЛ – 3	3хА50	От п/с «Зиморг»	Долинный и горный	от минус 2 до плюс 27	ШАХТА
КЛ – 0,55	КГЗх35+1х10				

Окончание таблицы 1.5

Тип и длина линий, км	Марка и сечение линий, мм ²	Основные источники питания	Рельеф местности	Средняя температура, °С	Основные нагрузки
ТА ООО СП «Анзоб»					
ВЛ – 17,5	4хА50 ААВГ 3хА70	От п/с «Джизжикруд»	Долинный и горный	от минус 4 до плюс 30	ШАХТА
КЛ – 5,4	ГРШЭП 3х25+1х10				
ОАО «Джамаст»					
ВЛ – 3,7	4хА70 4хА50	От районной п/с.	Долинный и горный	от минус 3 до плюс 28	ШАХТА
КЛ – 1,18	ЭКГ3х35+1х10 АВРБ 3хА70+1х10				Дробилка – ШКД, Насос – ЦНС, Компрессор – ВП Лебедка
ГУП «Ангишт»					
ВЛ – 3,5	4хА50	От п/с «Шураб»	Долинный и горный	от минус 7 до плюс 33	ШАХТА
КЛ – 0,1	КШВГ3х25+1х10				
Дочернее предприятие Угольная шахта «Ангишти Шурообод»					
ВЛ – 10,1	4хА70 4хА50	От районной п/с.	Долинный и горный	от минус 6 до плюс 25	ЭКГ-5А, СБШ, СБУ, Дробилка – ШКД
КЛ – 0,25	КГШЭ 3х35+1х10				
ООО «Кудрат 2010»					
ВЛ – 4,5	3хА50	От районной п/с.	Долинный и горный	от минус 1 до плюс 29	ЭКГ-5А, Освещение карьера

Распределительные электрические сети 6 кВ на горнодобывающих предприятиях Республики, как правило, работают в режиме изолированной нейтрали, имеются воздушные (средняя длина 4 км, максимальная длина 10 км) и кабельные (средняя длина 0,1 км, максимальная длина 0,3 км) линии.

Наименее надежным элементом в системе внутреннего электроснабжения горнодобывающих предприятий являются линии электропередачи. Несмотря на непрерывное улучшение качества их строительства и эксплуатации, удельное количество повреждений остается значительным. Выполнение схем КРС напряжением 6 кВ зависит от технологии ведения открытых горных работ. Кабельная линия прокладывается от приключательного пункта до экскаватора или бурового станка.

Поскольку длина кабеля регламентируется, то, очевидно, что воздушная линия имеет доминирующее значение в КРС напряжением 6 кВ. Воздушные линии напряжением 6 кВ имеют различную протяженность, которая зависит от способа, технологии ведения открытых горных работ, а протяженность кабельной линий зависит от количества присоединенных электроприемников.

Анализ схем электроснабжения 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.

1.3 Обеспечение электробезопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан

Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими средствами и способами защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Для этого применяются широко известные методы и средства. С начала 60-х годов в СССР проводятся комплексные исследования в области теории и практики электробезопасности [82, 164]. Сюда следует отнести формирование вероятностной концепции о природе электротравматизма [79, 83], разработку теории оптимизации систем безопасности [87, 120], разработку теории инженерных методов расчета заземляющих устройств [86, 163], создание и внедрение эффективных средств электрозащиты – устройств защитного отключения [7, 38, 104, 126], исследование параметров изоляции электрических сетей [120, 159, 160, 162].

С учетом вышеизложенного следует особо отметить, что горнодобывающие предприятия Республики Таджикистан возникли, развивались во времена Советского Союза, технические решения, принимаемые по обеспечению безопасности, были определены нормативными актами государственного технического надзора СССР, действовавшего в то время.

Кроме того, в настоящее время, в Республике Таджикистан в соответствии с соглашением, подписанным главами государств СНГ от 9 декабря 1994 года, применяются ГОСТы, СНИПы, СанПиНы, разработанные и применяемые органами Госстандарта, бывшего СССР и Российской Федерации [92].

Задачи обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В карьеров решаются как путем совершенствования защитных характеристик существующих средств защиты, так и разработкой новых способов и устройств.

В соответствии с [40, 41] на горнодобывающих предприятиях применяют следующие основные технические способы и средства обеспечения электробезопасности в КРС напряжением выше 1000 В: защитное заземление, защита от ОЗЗ, изоляция токоведущих частей и ее контроль, и т.д. Электрозащитные свойства совокупности средства обеспечения безопасности, используемых в электрических сетях, удобно описывать специальными показателями, характеризующими безопасность системы в целом.

Защитное заземление является одним из основных средств обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок на открытых горных работах.

В соответствии с ПТЭ и ПТБ в условиях открытых горных работ должны заземляться корпуса и металлические части всех горных электрифицированных машин, механизмов и инструментов (конвейерные приводы, лебедки, электробуры, экскаваторы, буровые станки и т. п.), корпуса трансформаторов и измерительных приборов, электрических аппаратов, и осветительной аппаратуры, каркасы распределительных устройств (КРУ) и ПП, броня кабелей, железобетонные и металлические опоры ВЛ.

По техническим требованиям [101], защитное заземление применяется в сетях напряжения до 1000 В с изолированной нейтралью, а в сетях выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Основные требования к устройству заземления карьеров изложены в ЕПБ, ПТЭ открытых горных работ, а основы теории и практики эксплуатации защитных заземлений, методы расчета заземления, режимы работы заземления и контроль заземляющих устройств на горнодобывающих предприятиях – в известных работах Воробьева В.И., Грудинского Л.П., Гладилина Л.В., Меньшова М.Б., Бариева Н.В., Щуцкого В.И., Сидорова А.И., Чеботаева Н. И., Якобса А. И, Бургсдорфа В. В., Бацежева Ю. Г., Чумакова Г.И., Тестянова А.Д., Иноятова М.Б., Мадусманова А.М., Абдуллоева Р. Т. и др. [2, 8, 9, 31, 46-50, 60, 61, 83, 103, 105, 149, 154, 159-162].

Согласно Правил безопасности, сопротивление растеканию заземляющего устройства при подземной разработке полезных ископаемых должно составлять не более 2 Ом, а при открытой – 4 Ом. Сюда включается сопротивление центрального заземления и сопротивление заземляющих проводников.

На рисунке 1.5 показана примерная схема устройства защитного заземления на небольших карьерах [158, 159, 162].

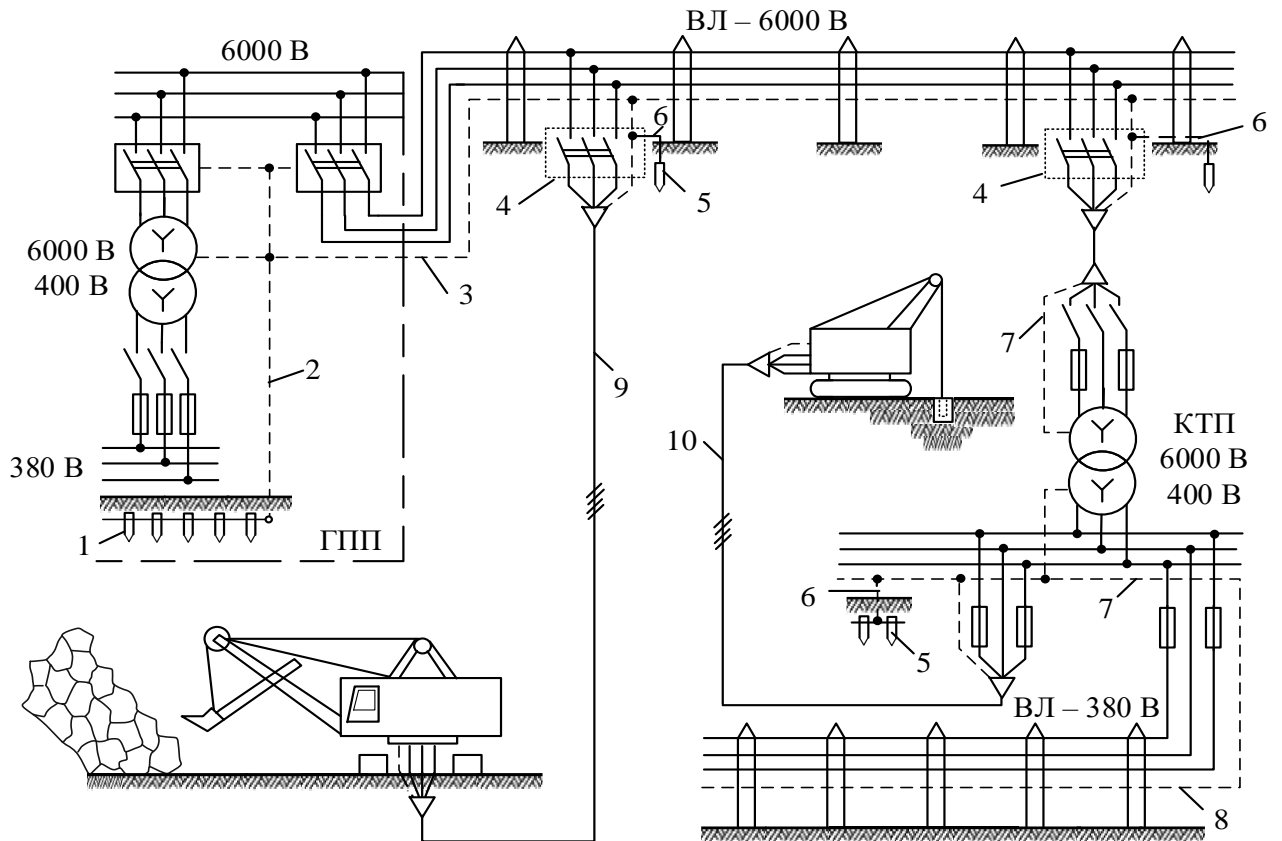


Рисунок 1.5 – Пример выполнения заземления: 1 и 5 – главный и местные заземлители; 2 и 7 – заземляющие шины и жилы; 3 и 8 – заземляющие провода; 4 – приключательные пункты; 6 – отводы от местных заземлителей; 9 и 10 – кабельные линии

Недостаток центрального заземления [161] – возможность обрыва в сети заземления, особенно заземляющей жилы гибкого кабеля. Назначение местных заземлителей [120] – обеспечение электробезопасности в случае обрыва в заземляющей сети.

Защита от ОЗЗ. Одним из наиболее распространенных видов повреждений в КРС является ОЗЗ [10, 11, 34, 41, 67, 128]. При отсутствии селективных устройств защиты это приводит к длительным простоям горнодобывающих машин, а при разветвленной сети – к значительной потере времени на обнаружение места повреждения, что наносит весьма ощутимый ущерб предприятию.

Характеристики, защитные свойства и область применения устройств защиты от ОЗЗ подробно рассмотрены и описаны в работах Будникова В.В.,

Ягудаева Б.М., Бухтоярова В.Ф., Немцева Г.А., Бабокина Г.И., Цапенко, Е.Ф. Пивняка, Г.Н., Иноятова, М.Б., Гургова, Я.Х., Додхудоева М.Д. и др. [4, 12, 32, 33, 36, 43, 47, 52, 62, 63, 80, 88, 97, 99, 109, 127].

К устройствам защиты от ОЗЗ предъявляется ряд требований. Прежде всего, устройство защиты должно сработать и отключить поврежденную линию при металлическом замыкании, замыкании через переходное сопротивление, при наличии неустойчивой дуги в месте замыкания.

Эффективность действия защит от однофазных замыканий на землю в условиях существования ОЗЗ в сети зависит от выполнения ряда основных требований [6, 35, 45, 70, 136]: селективность, чувствительность, надежность, быстродействие.

Устройства защиты, применяемые в карьерных распределительных сетях, можно классифицировать по принципу действия:

1. Защитные устройства, реагирующие на параметры нулевой последовательности установившегося режима замыкания на землю:

- напряжение нулевой последовательности;
- ток нулевой последовательности;
- ток нулевой последовательности с блокировкой по напряжению нулевой последовательности;
- мощность нулевой последовательности;
- фазные напряжения и ток нулевой последовательности.

2. Устройства защиты, реагирующие на гармонические составляющие и параметры переходного процесса:

- высшие гармонические составляющие установившегося тока замыкания на землю;
- броски тока при переходных процессах;
- напряжение и ток нулевой последовательности при переходном процессе;
- волновые процессы.

3. Устройства, реагирующие на наложенные токи не промышленной частоты:

- постоянный оперативный ток;
- наложенный ток пониженной частоты;
- наложенный ток повышенной частоты.

4. Комбинированные устройства, реагирующие на:

- параметры переходного и установившегося режима ОЗЗ;
- фазные напряжения, ток и напряжение нулевой последовательности.

Наиболее распространенными видами защит из числа применяемых в настоящее время в РТ: простая токовая на базе реле РТЗ-50, РТЗ-51, РТ-40/0,2 и ЭТД 551/60, реагирующих на действующее значение полного тока нулевой последовательности, и токовая направленная на базе реле ЗЗП-1, РЗН-3, УЗЗН и др., реагирующих на направление мощности нулевой последовательности в установившемся режиме ОЗЗ.

Изоляция токоведущих частей и ее контроль. Для защиты человека от поражения электрическим током и нормальной работы электроустановок состояние изоляции проверяют после монтажа, ремонта и пребывания в нерабочем состоянии, а также в рабочем состоянии под напряжением [11, 90].

Контроль изоляции является одним из важнейших средств обеспечения условий электробезопасности, который подробно рассмотрен в известных работах Гладилина Л.В., Бодиенко И.И., Подольского Л.П., Щуцкого В.И., Орлихина А.П., Соболева В.Г., Бараша А.А., Мысика В.А., Сидорова А.И., Глухарева Ю.Д., Буралкова А.А., Щербаковой М.П., Усмонова Х.М., Рахимова О.С., Нажметдинова Ш.Г., и др. [11, 15, 51, 65, 67, 68, 74, 76, 90, 93-95, 98, 118-120, 134, 1135, 137-138, 144, 147, 152, 155, 156, 160, 162, 167 – 171].

Методы контроля изоляции можно разделить на две большие группы:

- методы непрерывного контроля изоляции — схема измерения постоянно подключена к контролируемой сети и измерение параметров изоляции сети производится постоянно без снятия напряжения с

электроустановки. Достаточно полный обзор способов непрерывного контроля изоляции приведен в [161].

- методы периодического контроля изоляции, которые применяются для измерения сопротивления изоляции через определенные периоды времени. В настоящее время разработаны различные способы периодического контроля параметров изоляции без снятия напряжения [65, 80, 98, 118, 160, 162].

В соответствии с ПУЭ в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ должен применяться автоматический непрерывный контроль изоляции фаз сети относительно земли, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз ниже заданного уровня.

В настоящее время разработаны различные схемы устройства непрерывного контроля изоляции. Их основные свойства и особенности определяются видом измерительного напряжения и способом подключения измерительной аппаратуры. Все известные схемы устройств осуществляют непрерывный контроль изоляции без снятия рабочего напряжения. Преимущества и недостатки этих схем приведены в работах [67, 161].

Вместе с тем следует подчеркнуть, что задача непрерывного контроля изоляции отдельных фаз сети относительно земли в электрических сетях с изолированной нейтралью решена не в полном объеме, что указывает на актуальность исследований в данном направлении.

1.4 Анализ травматизма в горнодобывающей отрасли Республики Таджикистан

Создание безопасных условий труда, внедрение современных средств техники безопасности, предупреждающих производственный травматизм, - главное требование трудовых законодательств Республики Таджикистан в области охраны труда.

По материалам Госгортехнадзора при ПРТ были проанализированы различные факторы, сопутствующие травматизму. Анализ данных охватывал 10 лет – с 01.01.2011 по 31.12.2020 годы. Общее количество изученных случаев 103. Результаты анализа представлены на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Распределение травматизма и аварийности в горнодобывающей отрасли Республики Таджикистан

Распределение травматизма и аварийности на горнодобывающей отрасли РТ за периоды 2011-2020 (рисунок 1.6) показывает то, что наибольшее число несчастных случаев произошло в 2016 году.

Основными из общих причин [5] приведших к несчастным случаям являются:

- неудовлетворительная организация производства работ;
- нарушение технологического процесса;
- неудовлетворительная организация и осуществление производственного контроля за выполнением требований промышленной безопасности;

- недостатки в организации и проведению подготовки работников по охране труда и промышленной безопасности;
- низкая трудовая и производственная дисциплина среди отдельных работников.

Около 65 % от общего числа несчастных случаев, имевших место на горных предприятиях Республики Таджикистан за исследуемый период, произошло на подземных горных работах. Около 98 % пострадавших – мужчины.

На рисунке 1.7 приведена динамика травматизма на горнодобывающих предприятиях по стажу работы и возрасту.

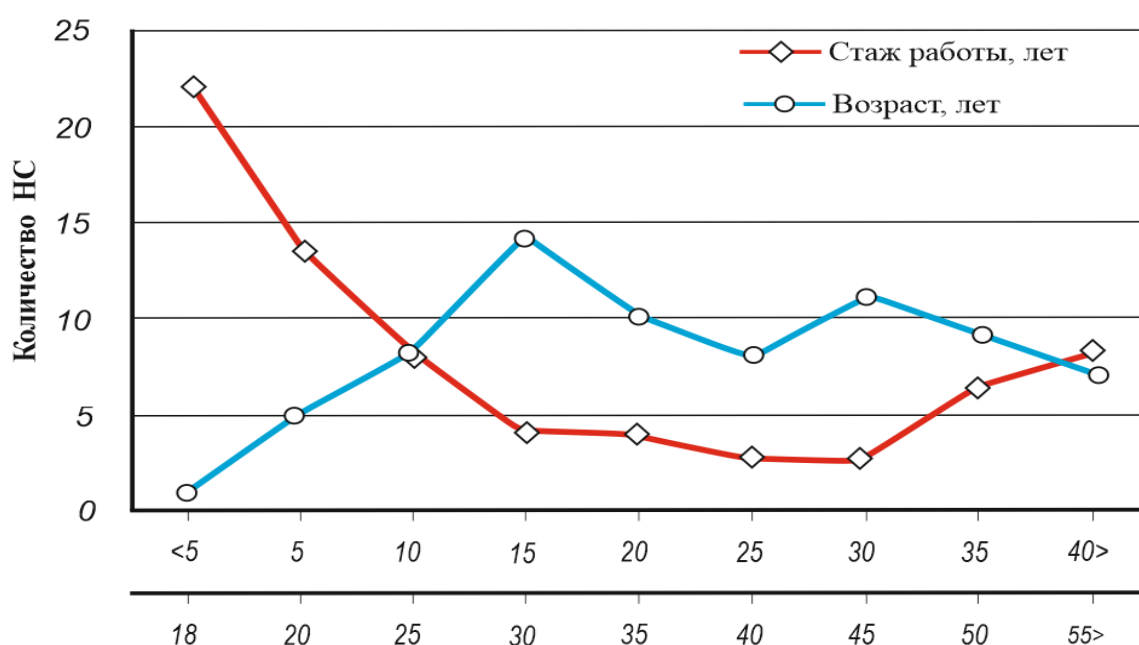


Рисунок 1.7 – Динамика травматизма на горнодобывающих предприятиях РТ по стажу работы и возрасту

Из распределения случаев травматизм по стажу работы пострадавших видно, что около 50 % всех несчастных случаев приходится на трудящихся со стажем работы до 5 лет. Это связано, по нашему мнению, с недостаточной профессиональной подготовкой работников и малым опытом работы, а также менее ответственным подходом к выполнению своих обязанностей.

Поэтому при анализе травматизма с целью выявления групп пострадавших, которые практически остаются наиболее опасными, следует пользоваться показателями травматизма в абсолютных величинах. В нашем случае такой группой являются работники со стажем работы до 12 лет. Для этой группы нужно разрабатывать специальные мероприятия по предотвращению несчастных случаев, в частности инструкции по охране труда, содержащие значительное количество иллюстративного материала.

Анализ по возрастному фактору показал, что наибольшее количество пострадавших был в возрасте от 30 до 45 лет. Это прежде всего связано с большей долей сотрудников данного возраста на предприятиях. Значительное число несчастных случаев (42,3 %) приходится на работников в возрасте до 30 лет. Это указывает на недостаточный уровень подготовки молодых людей, а также на необходимость применения такого простого мероприятия, как наставничество [5].

На рисунке 1.8 приведена динамика травматизма на горнодобывающих предприятиях РТ (по месяцам года и дням недели).

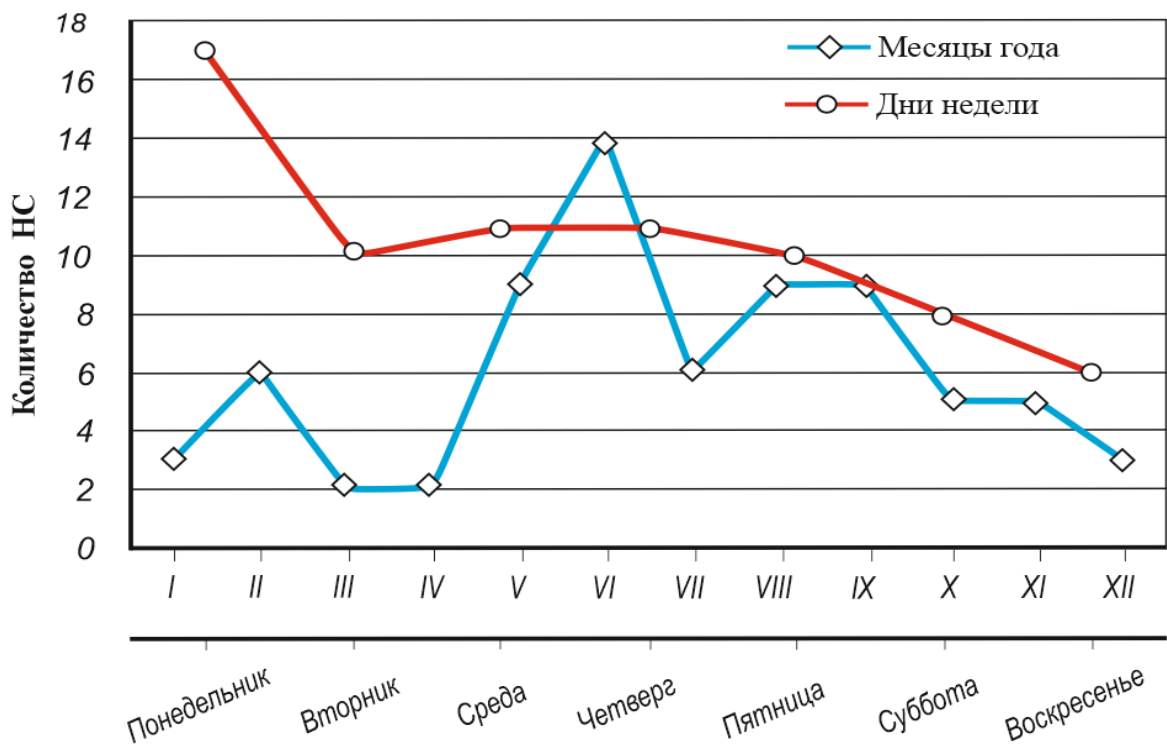


Рисунок 1.8 – Динамика травматизма на горнодобывающих предприятиях РТ по месяцам года и дням недели

Данная динамика по месяцам года показывает, что начиная с ноября частота травматизм снижается. а с мая – возрастает, достигая своего максимума в июне (19,2 %). На пять месяцев (май-сентябрь) приходится 64,4 % общего количество травматизм, т.е. наблюдается весенне-летний травматизм. Представляется, что основной причиной повышения частоты травматизм в этот период является увеличение объема всех видов работ.

Как видно из рисунка максимум (23,3 %) травматизм приходится на понедельник и минимум (8,2 %) на воскресенье. Основная причина – недостаточное внимание персонала к опасностям в первый день рабочей недели. Это легко может быть устранено введением в практику небольшого инструктажа, по подобию целевого [5].

Гистограмма распределения травматизма по часам суток (рисунок 1.9) свидетельствует о том, что частота несчастных случаев возрастает к середине дня, максимум уровня травматизм (24,6 %) приходится на интервал 14 – 15 часов.

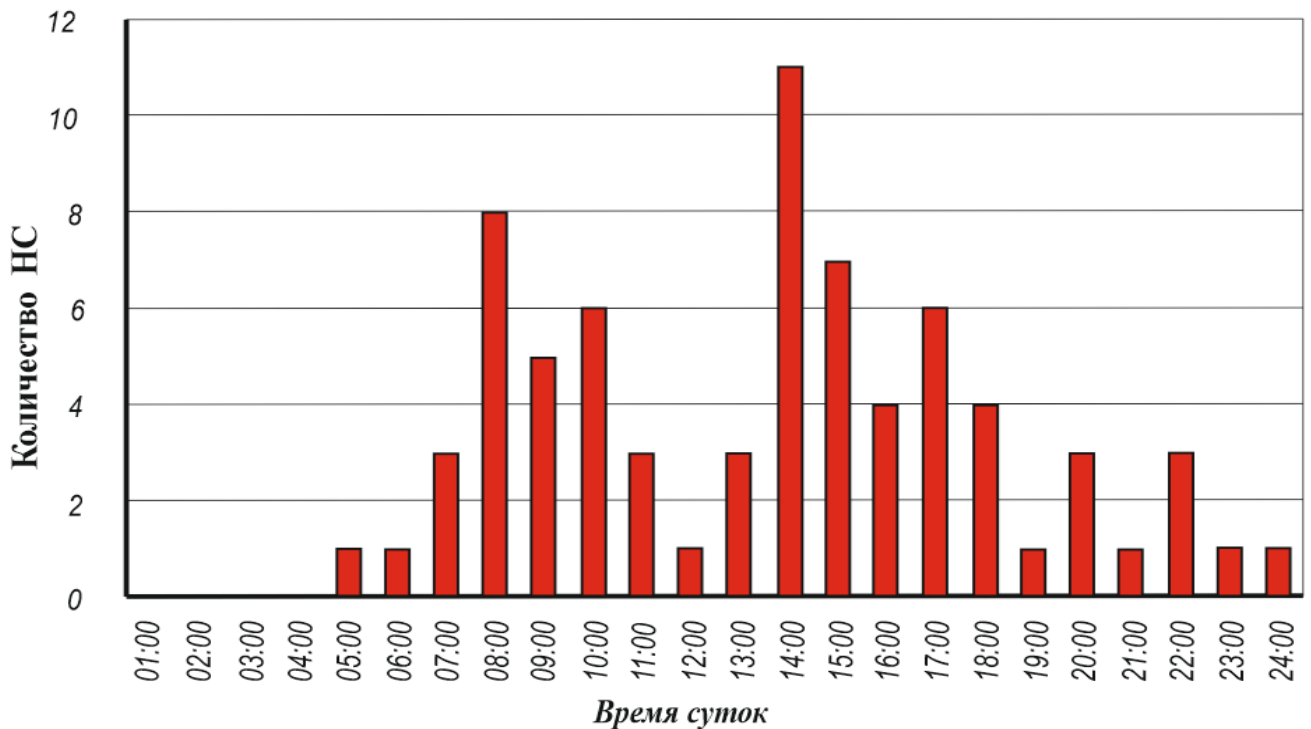


Рисунок 1.9 – Гистограмма распределения травматизма по часам суток

Выполненный анализ с выявлением причин несчастных случаев за исследуемые годы позволил установить тенденцию и выделить наиболее опасные технологические процессы являющиеся источниками травмоопасности в ходе выполнения технологического процесса в горнодобывающей отрасли. При разработке мероприятий необходимо учитывать именно данные источники опасности, предотвращение которых позволит уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций, а также гибель работающего персонала [5].

Выполненный анализ показал, что наибольшее количество несчастных случаев по возрасту приходится на работников от 30 до 45 лет (59 %) и по стажу работы наиболее подверженными травматизму оказались работники со стажем от года до 5 лет, а основными причинами несчетных случаев являются отсутствие опыта и недостаточное знание правил безопасности.

Распределение травм по месяцам года показывает, что большинство несчастных случаев происходит в июне (19,2 %), по дням недели наибольший травматизм наблюдается в понедельник (23,3 %), по часам суток – в середине дня.

Представленный в данном параграфе анализ травматизма может быть использован при разработке планов и программ обучения персонала различных категорий, а также может быть основой для разработки мероприятий, направленных на повышение безопасности труда при ведении горных работ.

1.5 Задачи исследования

Выполненный анализ состояния и особенностей распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан, факторов, влияющих на их надежность, методов и средства поддержания безопасности показал, что высокая надежность элементов КРС-6 кВ во много зависит от состояния их изоляции.

Кроме того, наибольшее число случаев ОЗЗ приходится на выход из строя изоляции элементов КРС. Отказ фазной изоляции электроприёмников происходит в большинстве случаев из-за электромеханических, температурных воздействий,

вызывающих возникновение микротрещин, через которые образуются токопроводящие каналы утечек тока.

Знание реальных параметров изоляции распределительной электрической сети с изолированной нейтралью позволяет оценить величину тока однофазного замыкания на землю, которое обеспечит возможность правильного выбора уставок релейной защиты. Кроме того, уровень изоляции фаз сети относительно земли, несомненно, влияет на вероятность возникновения аварийных режимов, которые, в последствии, приводят к электропоражениям.

На основе выше приведенных положений сформулированы следующие основные 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.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Качество результатов эксперимента, их достоверность определяются не только применением совершенной приборной базы, но, в первую очередь, правильным методическим подходом. Продуманная и выстроенная методика – залог успеха экспериментатора.

2.1 Оценка общепринятых методов исследования параметров изоляции распределительных электрических сетей относительно земли

Как уже указывалось ранее, состояние изоляции электроустановок, эксплуатирующихся в различных условиях горных работ, является важным элементом решения задачи по обеспечению безопасности и безаварийности систем электроснабжения.

Вместе с тем, статистические данные об уровне электрической изоляции, динамике ее изменения имеют сравнительно низкую информативность. Влияние состояния изоляции на отключение потребителей и перерывы в электроснабжении достигает 40–60 % [80, 90]. Из-за повреждений изоляции до 40% коммутационных аппаратов и до 90 % электрических машин выходят из строя [72, 124, 162].

Поэтому достоверное определение параметров изоляции весьма важно с точки зрения обеспечения надежности и безопасности электроснабжения [142].

Следует особо отметить, что в нормативных документах [45, 89] параметры изоляции фаз сети относительно земли для распределительных электрических сетей напряжением 6 – 35 кВ не устанавливаются.

Причина этого ясна, но иметь представление об уровне сопротивления изоляции фаз сети относительно земли весьма важно.

Значимость параметров изоляции фаз сети относительно земли, особенно для горнодобывающих предприятий, являлась в определенном смысле катализатором проведения исследований в данной области.

Это подтверждается значительным числом публикаций, изобретений, проведенных и проводимых конференций и т. п. [15, 19, 20, 22-25, 51, 67, 74, 76, 80, 85, 91, 93, 95, 107, 108, 118-123, 137-141, 147, 148, 152, 153, 158-164, 167-171].

Основными параметрами трехфазных электрических сетей, в значительной степени определяющими степень их надежности и безопасности, являются сопротивления изоляции фаз сети относительно земли. При эксплуатации электрических сетей значения составляющих сопротивлений изоляции фаз конкретны и могут изменяться во времени [161]:

активные – за счет старения, нагрева, увлажнения, загрязнения, механического повреждения, касания фазы человеком и т.п.;

емкостные – в силу изменения геометрических параметров составляющих линий сети.

Нахождение любых сопротивлений изоляции производится либо расчетным способом, либо путем измерений.

Для выполнения расчетов необходимо знать длины каждого участка соответствующей линии, но при этом погрешность в определении соответствующих параметров может составить от 10 до 20 % [115, 123], а в некоторых случаях и более. Эта ошибка обусловлена, в первую очередь, не учётом параметров относительно земли силового оборудования (трансформаторов, двигателей и т.п.).

Измерение имеет свои проблемы. Если это производить прямым замыканием фазы на землю, например, через трансформатор тока, то можно создать электроопасную ситуацию. Исключить последнее можно с помощью так называемого косвенного метода, когда мы измеряем какие-либо величины, пусть это будет напряжение смещения нейтрали, а по соответствующим формулам находим интересующий нас параметр.

Проведенный анализ позволил разделить (рисунок 2.1) существующие методы определения параметров изоляции фаз сети относительно земли на:

- непосредственное замыкание фазы на землю;
- подключение дополнительной проводимости между фазой и землей;
- подключение двух дополнительных проводимостей между фазой и землей.

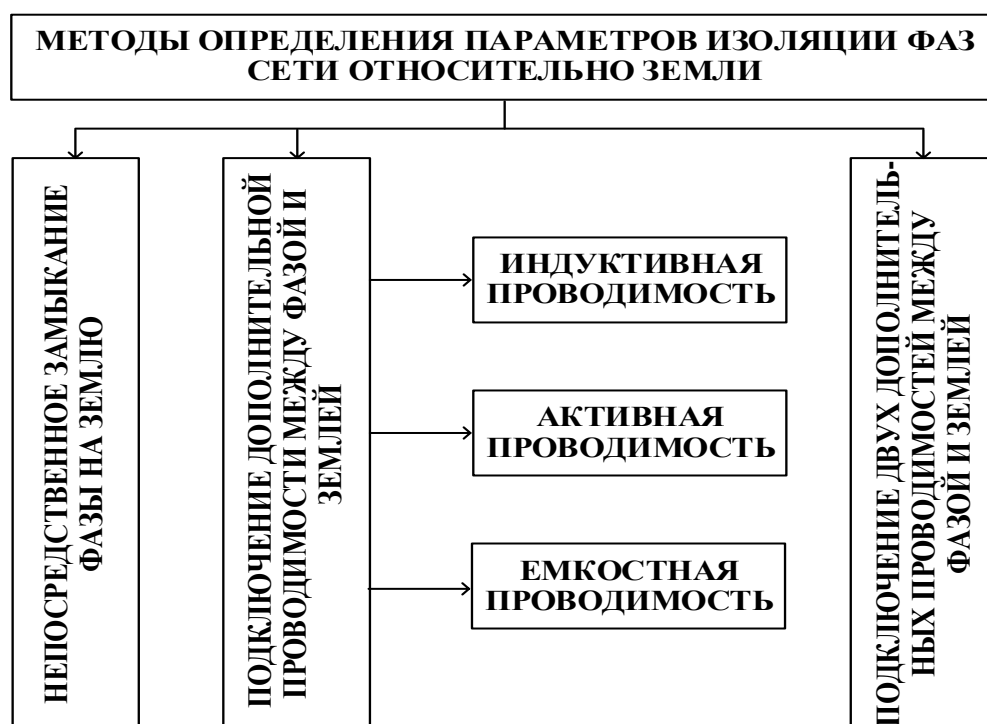


Рисунок 2.1 – Классификация методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли

Методы, основанные на непосредственном замыкании на землю. Непосредственное замыкание на землю проводится на какой-либо подстанции, где имеется резервная ячейка с выключателем, подключенным к сборным шинам подстанции. Схема включения измерительных приборов в этом случае приведена на рисунке 2.2. За выключателем (Q) на одной из фаз выполняется искусственное заземление. Между заземленной шиной выключателя и заземляющим проводом включается трансформатор тока (ТТ), первичный ток которого должен в 1,5 – 2 раза превышать предполагаемый ток ОЗЗ [95]. При однофазном замыкании на землю

амперметр (А) будет показывать полный ток замыкания, включая активную составляющую и токи высших гармоник.

Полная проводимость изоляции фаз сети относительно земли определится по величинам тока замыкания на землю $I_{\phi.o}$ и напряжению фазы сети относительно земли $U_{\phi.o}$, измеренным при замыкании одной из фаз на землю.

$$y = \frac{I_{\phi.o}}{U_{\phi.o}}. \quad (2.1)$$

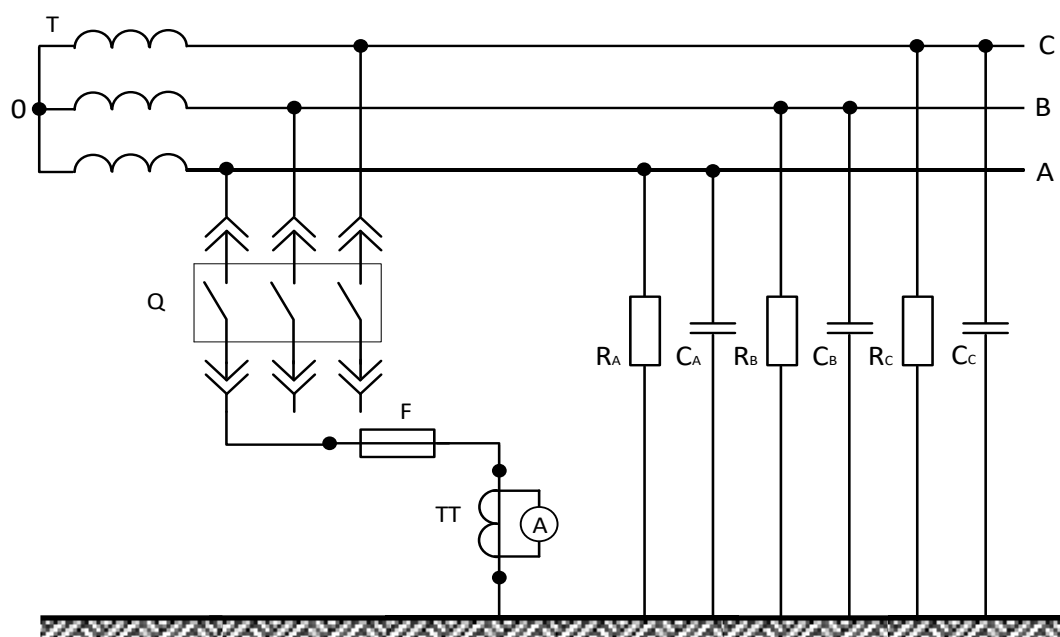


Рисунок 2.2 – Схема измерения тока однофазного замыкания на землю по методу прямого замыкания

Длительное время основным способом, применяемым для исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением выше 1000 В, являлся метод амперметра-вольтметра, детально разработанный Л.В. Гладилиным [160]. Здесь используются два основных режима измерений: режим холостого хода и режим замыкания. В результате измерений напряжения $U_{\phi.o}$ и однофазного замыкания на землю $I_{\phi.o}$ определится величина сопротивления изоляции сети. Принципиальная схема этого способа приведена на рисунке 2.3.

$$y_{из} = \frac{I_{\phi.o}}{U_{\phi.o}} = \sqrt{g_{из}^2 + b_{из}^2}, \quad (2.2)$$

где $y_{из}$, $g_{из}$, $b_{из}$ – полная проводимость изоляции и ее активная и реактивная составляющие.

Для разделения полной проводимости изоляции на активную и реактивную составляющие измеряется дополнительно напряжение фазы по отношению к земле при введенной активной или реактивной проводимости. При этом суммарная проводимость изоляции определяется:

а) при подключении дополнительной активной проводимости

$$y_{\Sigma} = \frac{I_{\phi.o}}{U'_{\phi.o}} \cdot \sqrt{(g_{из} + g_{д})^2 + b_{из}^2}, \quad (2.3)$$

б) при подключении дополнительной реактивной проводимости

$$y_{\Sigma} = \frac{I_{\phi.o}}{U'_{\phi.o}} \cdot \sqrt{(b_{из} + b_{д})^2 + g_{из}^2}, \quad (2.4)$$

где y_{Σ} – суммарная проводимость изоляции;

$U'_{\phi.o}$ – напряжение фазы относительно земли при введенной дополнительной проводимости;

$g_{д}$, $b_{д}$ – дополнительные активная и реактивная проводимости.

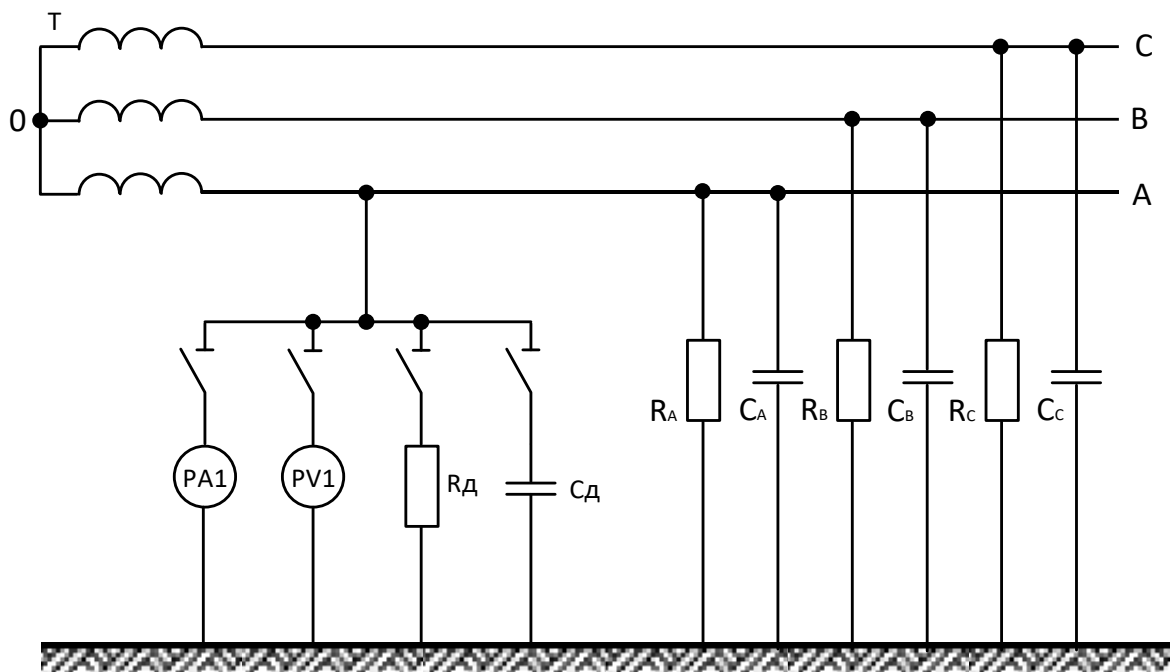


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема метода амперметра-вольтметра

Составляющие полной проводимости определяются из (2.3) и (2.4):

а) при подключении дополнительной активной проводимости

$$g_{ИЗ} = \frac{y_{\Sigma}^2 - y_{ИЗ}^2 - g_{Д}^2}{2 \cdot g_{Д}}, \quad b_{ИЗ} = \sqrt{y_{ИЗ}^2 - g_{ИЗ}^2}, \quad (2.5)$$

б) при подключении дополнительной реактивной проводимости

$$b_{ИЗ} = \frac{y_{\Sigma}^2 - y_{ИЗ}^2 - b_{Д}^2}{2 \cdot b_{Д}}, \quad g_{ИЗ} = \sqrt{y_{ИЗ}^2 - b_{ИЗ}^2}, \quad (2.6)$$

Минимальная погрешность способа достигается при введении дополнительных проводимостей, величины которых удовлетворяют условию:

$$g_{Д} \text{ (или } b_{Д}) \leq \left(\frac{1}{2} \div 2 \right) \cdot y_{ИЗ}. \quad (2.7)$$

Достоинства метода:

- возможность определения полного сопротивления изоляции относительно земли, его активной и реактивной составляющих;
- конструктивная простота;
- быстрота измерений;
- простота расчетных соотношений;
- достаточная для практики точность.

Недостатки метода:

- в процессе измерения возникает необходимость ОЗЗ, в результате чего повышается напряжение в двух других фазах, что может привести к междуфазным и многоместным замыканиям;
- измерение тока ОЗЗ небезопасно как для персонала, проводящего измерения, так и для применяемого оборудования;
- невозможность определения параметров изоляции отдельных фаз;
- использование режима замыкания требует на период производства измерений отключение потребителей, что нежелательно;
- возможность появления напряжения прикосновения и шага;

- может приводить к выходу из строя электроприемников и приборов измерения;
- требуется проведение комплекса организационно-технических мероприятий.

Отмеченные выше недостатки обуславливают необходимость применения других путей нахождения интересующих нас параметров. При этом должна исключена связь с землей через малое сопротивление.

Методы, основанные на подключении дополнительной проводимости между фазой и землей. Метод основан на искусственном смещении нейтрали, которое реализуется подключением между одной из фаз сети и землей дополнительной проводимости и измерении действующих значений напряжений: фазного; фазы, к которой подключена дополнительная проводимость, относительно земли; между нейтралью трехфазной сети и землей. Область значений напряжения между нейтралью и трехфазной сети и землей подробно исследована в работах [14-20, 28-30, 65, 67, 74, 75, 84, 90, 112, 113, 118, 120, 134-139, 142, 155].

Как было указано выше, определение параметров изоляции фаз сети относительно земли, основанных на подключении дополнительной проводимости, осуществляется при подключении к фазе:

1. индуктивной проводимости;
2. активной проводимости;
3. емкостной проводимости.

Следует отметить, в настоящее время на практике замыкание одной из фаз на землю через дополнительную индуктивность не используется из-за возможности возникновения в сети резонансных явлений, что является небезопасным и может привести к возникновению аварийной (повреждение изоляции и выход из строя оборудования) ситуации.

Подробный анализ процессов, протекающих в электрических сетях, возникающих при замыкании фазы на землю через дополнительную индуктивность, приведен в [77].

В настоящее время, в основном, используются 2-3 метода.

Методы, обозначенные нами цифрой 2 подробно описаны в [76, 138-140, 157, 161, 162, 171], (рисунок 2.4).

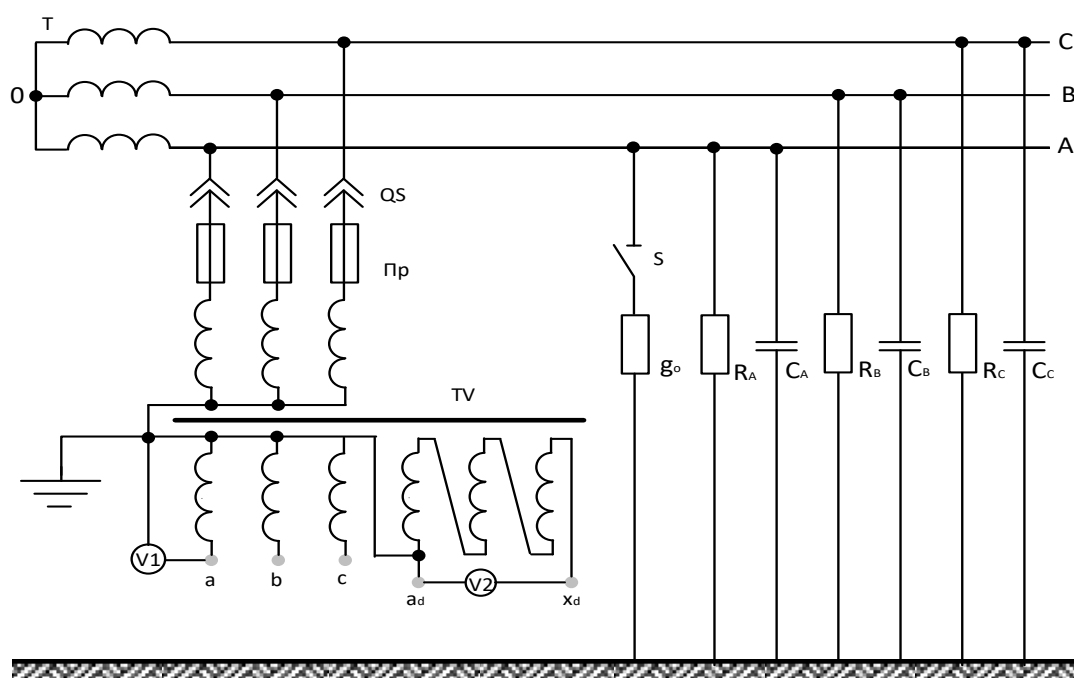


Рисунок 2.4 – Метод определения параметров изоляции с использованием дополнительной активной проводимости

По измеренным величинам модулей линейного напряжения $U_{л}$, напряжения нулевой последовательности U_0 , напряжения фазы относительно земли $U_{ф,0}$ после подключения между фазой и землей дополнительной активной проводимости g_0 производится определение параметров изоляции по уравнениям [139]:

а) активная проводимость изоляции сети

$$g = \left(\frac{U_{л}}{\sqrt{3U_{\phi 0}^2 + U_0^2}} - 1 \right) \cdot g_0, \quad (2.8)$$

б) емкостная проводимость изоляции сети

$$b = \frac{U_{л} \cdot U_{\phi 0} \cdot g_0}{U_0 \cdot \sqrt{3U_{\phi 0}^2 + U_0^2}}, \quad (2.9)$$

в) полная проводимость изоляции сети

$$y = \sqrt{g^2 + b^2}. \quad (2.10)$$

Достоинства при подключении активной проводимости:

- конструктивная простота;
- простота расчетных соотношений;
- быстрота измерений.

Недостатки при подключении активной проводимости:

- невозможность определения параметров изоляции сети относительно земли отдельных фаз;
- отсутствие доступных промышленных образцов высоковольтных активных проводимостей, пригодных для использования в установках напряжением выше 1000 В;
- дополнительная активная проводимость должна обладать способностью рассеивать значительную мощность (10 кВт и выше), в результате чего мощности неизбежен значительный температурный дрейф параметров дополнительной активной проводимости, что существенно увеличит погрешность результатов измерений.

Указанные выше недостатки устраняются при использовании метода определения параметров изоляции, основанного на подключении дополнительной емкости между фазой и землей (рисунок 2.5).

- в качестве дополнительной емкости целесообразно использовать силовые конденсаторы, применяемые в конденсаторных установках, предназначенных для компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения;
- изменение параметров дополнительной емкости в процессе измерений минимально.

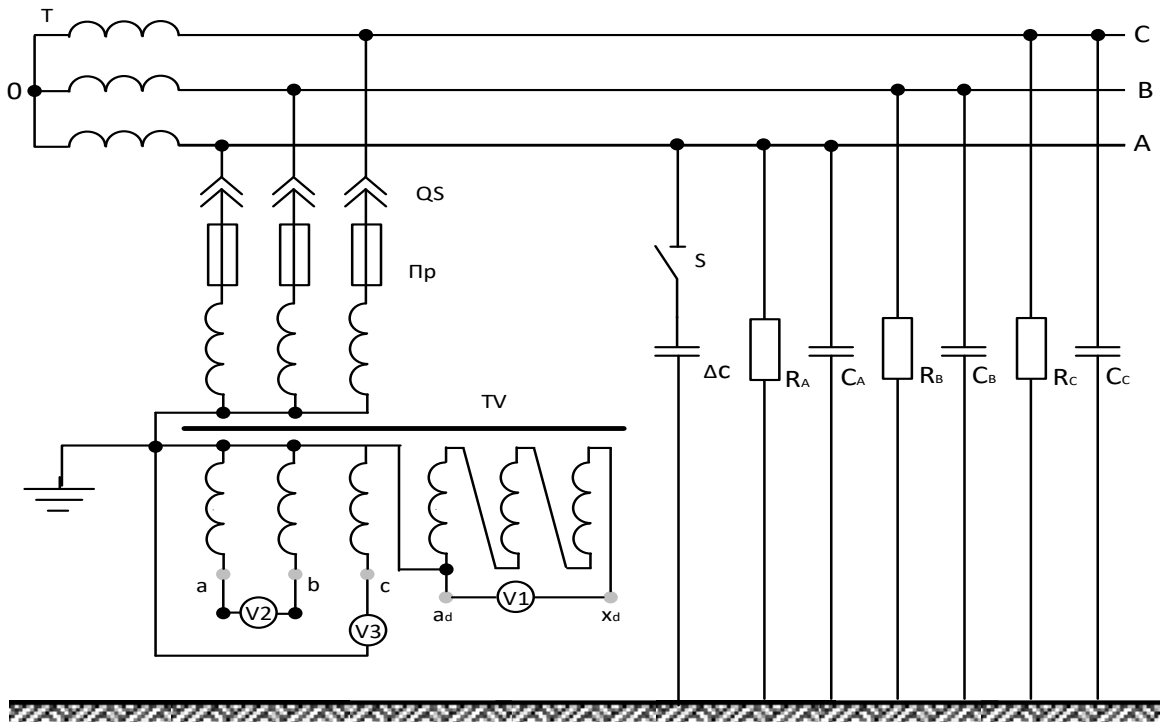


Рисунок 2.5 – Метод определения параметров изоляции с использованием дополнительной емкости

В работах [15, 18, 19, 26, 29, 74, 75, 115, 120, 122, 123, 161] были заложены основы данного метода определения параметров изоляции. Получены расчётные формулы для определения активной и реактивной составляющих, [118, 120]. Метод основан на измерении величин модулей линейного напряжения $U_{\text{л}}$, напряжения фазы относительно земли $U_{\text{ф.о}}$ и напряжения нейтрали сети относительно земли $U_{\text{н.о}}$ до и после подключения дополнительной емкости ΔC между фазой и землей.

При этом емкость фаз сети относительно земли находится [120]:

$$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \frac{U'_A / U'_{\text{л}}}{U_A / U_{\text{л}} - U'_A / U'_{\text{л}}}, \quad (2.11)$$

где ΔC – дополнительная емкость, подключаемая к одной из фаз сети;

$U_{\text{л}}$ и $U'_{\text{л}}$ – линейные напряжения сети до и после подключения к фазе А дополнительной емкости ΔC , соответственно;

U_A и U'_A – напряжения фазы А относительно земли до и после подключения дополнительной емкости.

Активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли находится по формуле:

$$R_{из} = \frac{3}{d\omega C_{\Sigma}} = \frac{1}{d\omega C_{\phi}}. \quad (2.12)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота напряжения сети;

d – коэффициент успокоения сети, который зависит от вида сети. Для сетей, состоящих преимущественно из кабельных линий, $d = 0,03–0,05$, для сетей, состоящих преимущественно из воздушных линий, $d = 0,3–0,5$ [123, 130].

Достоинства метода, основанного на подключении дополнительной емкости:

- достаточно точно известна величина емкости конденсатора;
- изменение параметров дополнительной емкости в процессе измерений минимально;
- величина напряжения естественной несимметрии сети практически не влияет на искомый результат;
- возможные колебания напряжения в сети учитываются;
- величина коэффициента d мало влияет на точность определения емкостной проводимости сети.

Недостатки подключения дополнительной емкости:

- невозможность нахождения сопротивлений отдельных фаз относительно земли;
- достаточно сложные расчеты.

Методы, основанные на подключении двух дополнительных проводимостей между фазой и землей. Метод основан на измерении величин модулей линейного напряжения $U_{л}$ и напряжения фазы относительно земли U_1 и U_2 при поочередном подключении первой и второй дополнительных проводимостей g_1 и g_2 между фазой и землей.

На рисунке 2.6 приведена схема метода определения параметров изоляции по двум активным дополнительным проводимостям.

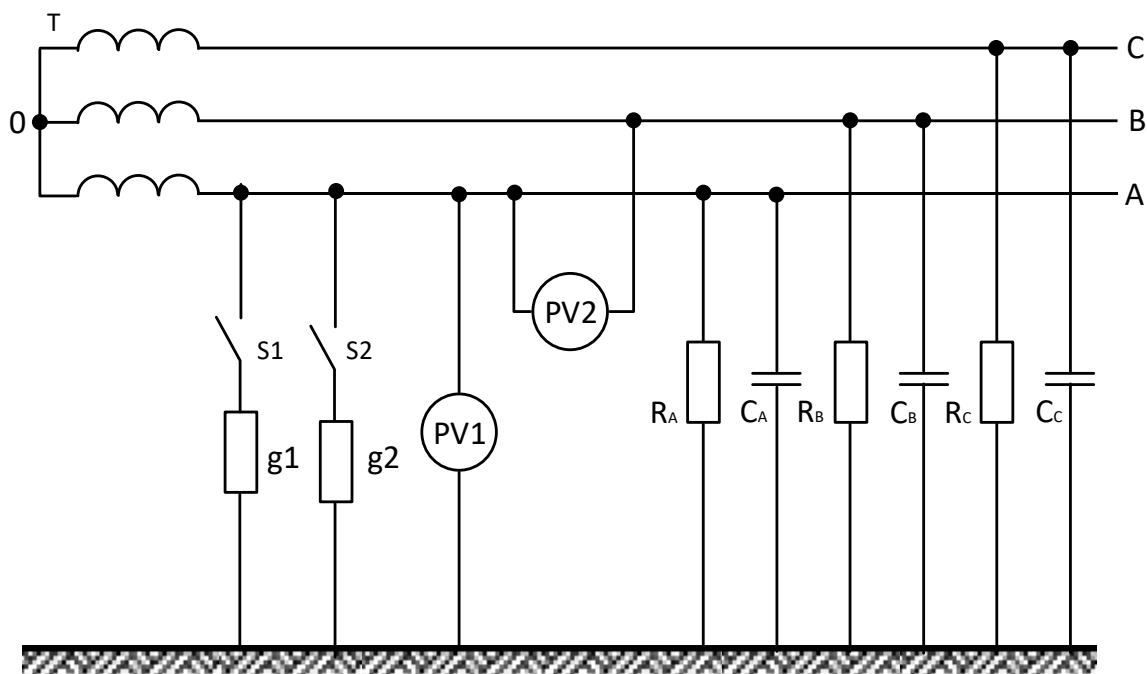


Рисунок 2.6 – Метод определения параметров изоляции по двум дополнительным проводимостям

Активную проводимость изоляции сети относительно земли находим следующим образом:

$$g = \frac{g_2^2 \cdot U_2^2 \cdot (U_{л}^2 - 3 \cdot U_1^2) - g_1^2 \cdot U_1^2 \cdot (U_{л}^2 - 3 \cdot U_2^2)}{2 \cdot [g_1^2 \cdot U_1^2 \cdot (U_{л}^2 - 3 \cdot U_2^2) - g_2^2 \cdot U_2^2 \cdot (U_{л}^2 - 3 \cdot U_1^2)]}, \quad (2.13)$$

а полную:

$$y = \left[\frac{3 \cdot U_1^2}{U_{л}^2 - 3 \cdot U_1^2} \cdot g_2 \cdot (g_1 - 2 \cdot g) \right]^{0.5} \quad (2.14)$$

Тогда реактивная определится как:

$$b = \sqrt{y^2 - g^2}. \quad (2.15)$$

Достоинством данного метода является возможность определения полной проводимости изоляции и ее составляющих (активной и реактивной).

Недостатки метода:

- отсутствие доступных промышленных образцов высоковольтных активных проводимостей, пригодных для использования в установках напряжением выше 1000 В;
- дополнительная активная проводимость должна обладать способностью рассеивать значительную мощность (10 кВт и выше), в результате чего мощности неизбежен значительный температурный дрейф параметров дополнительной активной проводимости, что существенно увеличит погрешность результатов измерений.
- невозможность определения параметров изоляции относительно земли отдельных фаз;
- возможно появление перенапряжения одной из фаз электроустановки относительно земли, превышающего величину линейного напряжения.

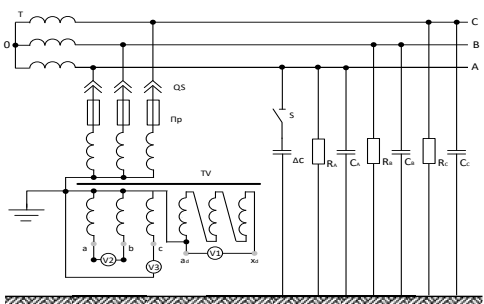
Проведённый анализ (таблица 2.1) показал, что наиболее перспективным является косвенный метод, основанный на искусственном смещении нейтрали, которое реализуется подключением между одной из фаз сети и землей дополнительной емкости известного номинала и измерении действующих значений напряжений: фазного; фазы, к которой подключена дополнительная емкость, относительно земли; между нейтралью трехфазной сети и землей. Поскольку здесь не только обеспечивается безопасность при производстве измерений, но и исключается снижение надежности сетей.

В таблице 2.1 представлены результаты анализа известных решений по определению изоляции фаз сети относительно земли в карьерных распределительных электрических сетях напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью.

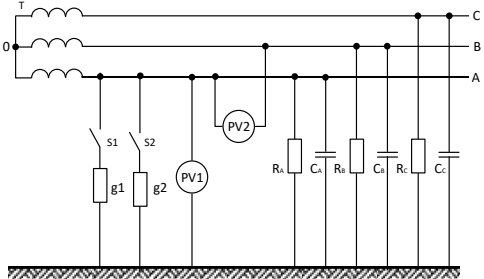
Таблица 2.1 – Результаты анализа достоинств и недостатков различных методов определения параметров изоляции

Схемы	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Методы, основанные на непосредственном замыкании на землю		
 <p data-bbox="197 869 712 957">Принципиальная схема метода амперметра-вольтметра</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) возможность определения полного сопротивления изоляции относительно земли, его активной и реактивной составляющих; 2) конструктивная простота; 3) быстрота измерений; 4) простота расчетных соотношений; 5) достаточная для практики точность. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) в процессе измерения возникает необходимость ОЗЗ, в результате чего повышается напряжение в двух других фазах, что может привести к междуфазным и многоместным замыканиям; 2) измерение тока ОЗЗ небезопасно как для персонала, проводящего измерения, так и для применяемого оборудования; 3) невозможность определения параметров изоляции отдельных фаз; 4) использование режима замыкания требует на период производства измерений отключение потребителей, что нежелательно. 7) возможность появления напряжений прикосновения и шага; б) может приводить к выходу из строя электроприемников и приборов измерения; 7) требуется проведение комплекса организационно-технических мероприятий.

Продолжение таблицы 2.1

Методы, основанные на подключении дополнительной проводимости между фазой и землей		
1	2	3
 <p>Метод определения параметров изоляции с использованием дополнительной емкости</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) достаточно точно известна величина емкости конденсатора; 2) изменение параметров дополнительной емкости в процессе измерений минимально; 3) величина напряжения естественной несимметрии сети практически не влияет на искомый результат; 4) возможные колебания напряжения в сети учитываются; 5) величина коэффициента d мало влияет на точность определения емкостной проводимости сети. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) невозможность определения параметров сети относительно земли отдельных фаз; 2) достаточно сложные расчеты.
 <p>Метод определения параметров изоляции с использованием дополнительной активной проводимости</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) конструктивная простота; 2) простота расчетных соотношений; 3) быстрота измерений. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) невозможность определения параметров изоляции сети относительно земли отдельных фаз; 2) отсутствие доступных промышленных образцов высоковольтных активных проводимостей, пригодных для использования в установках напряжением выше 1000 В; 3) дополнительная активная проводимость должна обладать способностью рассеивать значительную мощность (10 кВт и выше), в результате чего мощности неизбежен значительный температурный дрейф параметров дополнительной активной проводимости, что существенно увеличит погрешность результатов измерений.

Окончание таблицы 2.1

1	2	3
<p>Метод определения параметров изоляции с использованием дополнительной индуктивной проводимости</p>	<p>В настоящее время на практике замыкание одной из фаз на землю через дополнительную индуктивность не используется из-за возможности возникновения в сети резонансных явлений, что является небезопасным и может привести к возникновению аварийной (повреждение изоляции и выход из строя оборудования) ситуации.</p>	
<p>Методы, основанные на подключении двух дополнительных проводимостей между фазой и землей</p>		
 <p>Метод определения параметров изоляции по двум дополнительным проводимостям</p>	<p>1) Достоинством данного метода является возможность определения полной проводимости изоляции и ее составляющих (активной и реактивной).</p>	<p>1) отсутствие доступных промышленных образцов высоковольтных активных проводимостей, пригодных для использования в установках напряжением выше 1000 В;</p> <p>2) дополнительная активная проводимость должна обладать способностью рассеивать значительную мощность (10 кВт и выше), в результате чего мощности неизбежен значительный температурный дрейф параметров дополнительной активной проводимости, что существенно увеличит погрешность результатов измерений.</p> <p>3) невозможность определения параметров изоляции относительно земли отдельных фаз;</p> <p>4) возможно появление перенапряжения одной из фаз электроустановки относительно земли, превышающего величину $U_{л}$.</p>

2.2 Требования к методике исследования параметров распределительных электрических сетей

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.

В технической литературе слабо отражен такой важный вопрос, как влияние окружающей среды на сопротивления фаз сети относительно земли.

Поскольку эти параметры окружающей среды являются величинами переменными, то можно предположить, что параметры изоляции КРС относительно земли также изменяются во времени. На рисунке 2.7 и в таблице 2.2, показаны средние значения параметров окружающей среды Республики Таджикистан по месяцам, с указанием температура, влажности, количества осадков и солнечная радиация по данным гидрометеостанций.

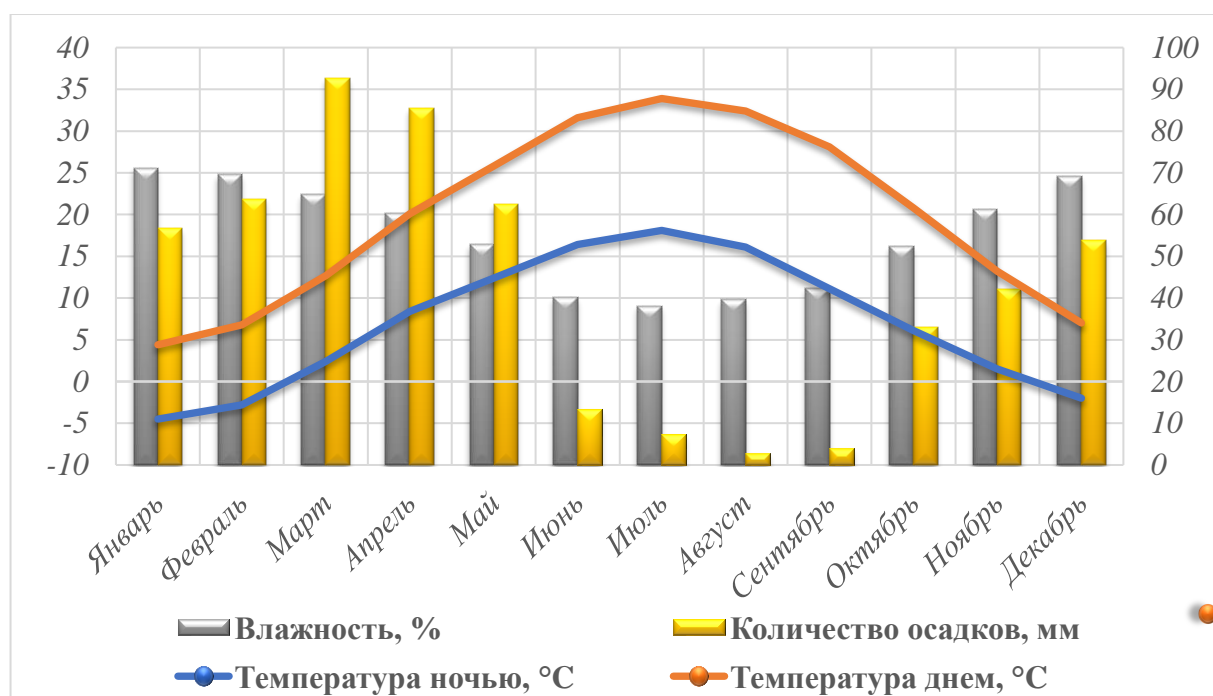


Рисунок 2.7 – Параметры окружающей среды Республики Таджикистан

Таблица 2.2 – Параметры окружающей среды Республики Таджикистан по месяцам

Средние значения параметров окружающей среды Республики Таджикистан по месяцам												
Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднесуточная температура, °С	-1.4	0.7	6.6	13.4	17.9	22.8	25.0	23.3	18.6	12.5	6.5	1.5
Средняя температура воздуха днем, °С	4.4	6.8	12.7	20.1	25.8	31.6	33.9	32.4	28.1	20.8	13.2	7.0
Средняя температура воздуха ночью, °С	-4.5	-2.8	2.4	8.4	12.4	16.4	18.1	16.1	11.1	6.1	1.5	-2.0
Количество осадков, мм	56.6	63.7	92.6	85.4	62.4	13.3	7.3	2.8	3.9	33.0	42.2	53.8
Средняя влажность воздуха, %	71.2	69.6	64.8	60.4	52.8	40.2	38.1	39.6	42.4	52.3	61.3	69.2
Среднесуточная солнечная радиация Вт/м ²	87,2	121,6	160,4	225,1	281	330,7	329	294,1	244,1	167,4	110	756
Количество дождливых дней (дней)	7,0	9,2	11,2	10,9	9,6	4,0	2,6	2,6	3,0	4,8	6,0	8,0
Средняя скорость ветра м/с	2,0	2,1	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,7	1,9

Возможность повышения температуры ограничивается свойствами изоляции, так как чем выше температура, тем быстрее происходит ее термическое разрушение и старение. Повышение температуры ускоряет протекание химических реакций, в том числе при воздействии на диэлектрик продуктов, возникающих в результате частичных разрядов, или реакции микрорадикалов, образовавшихся под действием частичных разрядов с кислородом среды или другими активными веществами, возникшими в результате частичных разрядов.

Другим и наиболее опасным фактором является увлажнение, которое, как правило, ведет к резкому уменьшению сопротивления утечки, росту диэлектрических потерь, снижению кратковременной и длительной электрической прочности. Вследствие этого снижается напряжение теплового пробоя и, кроме того, происходит дополнительный нагрев изоляции, что влечет за собой ускорение темпов теплового старения.

Характер неблагоприятного воздействия влажности воздуха зависит от его процентного содержания. Высокая относительная влажность резко снижает эксплуатационные свойства изоляционных материалов. Проникая внутрь этих материалов путем осмоса или образуя на их поверхности пленки, жидкости совместно с агрессивной средой, приводят к образованию трещин и снижению поверхностного сопротивления изоляции материалов на несколько порядков. При снижении влажности воздуха происходит высыхание материалов, их коробление, которые существенно влияют на надежность работы электрических машин.

Повышенная влажность воздуха при резких колебаниях температуры приводит к выпадению росы на изоляции электрооборудования, повышенной ионизации. Водяная пленка на поверхности деталей быстро загрязняется и ионизируется, вследствие чего увеличивается ее проводимость, появляются проводящие каналы, что в конечном итоге ведет к полному пробое и однофазному замыканию на землю, которое в ряде случаев приводит к внезапному междуфазному замыканию. Отрицательные температуры ведут к снижению проводимости изоляции электрооборудования и нарушению целостности изоляции гибких резиновых кабелей.

В Республике Таджикистан многие горнодобывающие предприятия размещены на высоте более 1000 – 3000 м над уровнем моря. В этих условиях с увеличением высоты над уровнем моря наблюдается снижение атмосферного давления воздуха, которое приводит к ухудшению условий охлаждения электрооборудования и снижению электрической прочности изоляционных промежутков воздуха. Совершенно не изученным, в этих условиях, является вопрос поведения электроизоляционных материалов, изменение их диэлектрических свойств, а также надежность работы электроустановок.

По климатическим условиям в Республике Таджикистан наибольшее количество осадков выпадает в весенние месяцы (март, апрель), что вновь приводит к ухудшению изоляции электрических сетей карьеров. Это связано с тем, что зимой при низких температурах шланговая оболочка и изоляция токоведущих жил кабелей, а также изоляторы воздушных линий твердеет, а при различных переносках, перегибах и механических нагрузках в оболочках кабелей и изоляторах воздушных линий образуются трещины. При эксплуатации электрических сетей в этот период в трещины попадают влага и грязь. Вследствие неустойчивой погоды (положительная температура днём резко переходит к отрицательным температурам ночью), влага, попавшая в трещины, конденсируется и увеличивает величину трещин. Когда весной выпадает большое количество осадков, вода и влага, проникающие в трещины, становятся проводником утечки тока и, как следствие, приводят к пробое изоляции или замыкания на землю.

Действие солнечной радиации на электрическую изоляцию и металлические части электрооборудования вызывает повышение температуры и приводит к сложным процессам разложения и разрушения химических соединений различных полимерных материалов, отчего может происходить их старение и возникает возможность увеличения токов утечки, пробоя изоляции, а также могут возникать определенные отказы элементов электроустановок.

Во всех случаях химические реакции, протекающие в изоляции при нагреве, приводят к постепенному изменению структуры и свойств материалов, и, как следствие, — к ухудшению свойств всей изоляции в целом. Для органической

изоляции скорость химических процессов разложения обычно возрастает примерно вдвое с увеличением температуры на каждые 10°C [11, 117].

Суммарное воздействие указанных факторов изменяет электрические и физико-механические параметры элементов карьерных распределительных электрических сетей, вызывает проколы, трещины, раздиры, вырывы, растяжение, уточнение и снижение электрических характеристик изоляции.

Таким образом, наблюдается снижение изоляционных свойств из-за влияния окружающей среды на электрическую изоляцию, в условиях жаркого климата и высокогорья, что оказывает существенное влияние на надежность и безопасность эксплуатации электроустановок.

2.3 Методика исследования параметров распределительных электрических сетей

Выполненный анализ существующих методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли позволяет остановиться на косвенном методе измерения, основанном на подключении дополнительной емкости ΔC между одной из фаз сети и землей, поскольку не только обеспечивает безопасность при производстве измерений, но и исключает снижение надежности распределительных электрических сетей. При исследовании параметров изоляции распределительных электрических сетей в нормальном эксплуатационном режиме измерения проводятся без снятия рабочего напряжения [23, 26, 28, 29, 112, 113].

Для проведения исследований состояния изоляции фаз сети относительно земли в сетях напряжением 6 – 35 кВ, необходимо провести измерения величин модулей линейного напряжения, напряжения нулевой последовательности и напряжения фазы относительно земли до и после подключения дополнительной емкости.

Измерения указанных величин следует производить каждый час, записывая при этом температуру, солнечную радиацию, количество осадков и относительную влажность.

Следует отметить, что величина параметров изоляции фаз сети относительно земли и емкостного тока ОЗЗ карьерных распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью зависит также от режима работы сети (протяженностей воздушных и кабельных линий, подключения экскаваторов, буровых станков, и других электроприемников карьеров), поэтому необходимо указывать это в соответствующей графе таблицы с результатами измерений:

- нормальный режим;
- отличается от нормального режима.

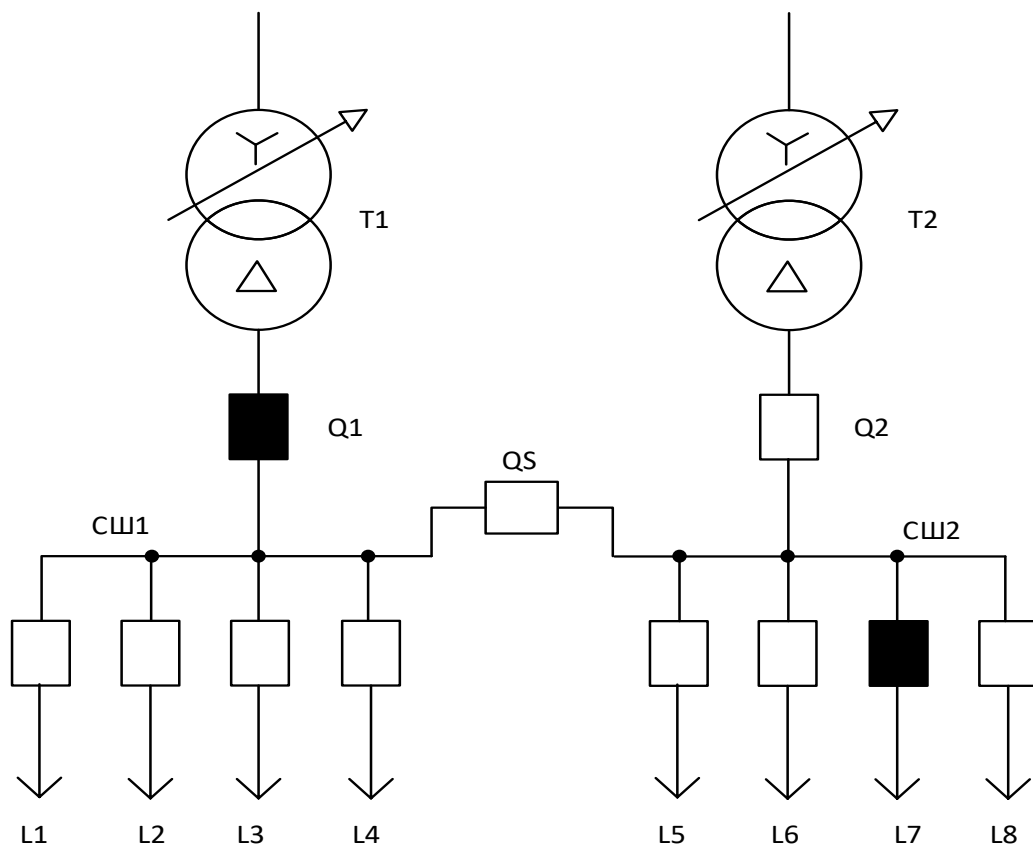


Рисунок 2.8 – Схема отличного от нормального режима работы сети

В нормальном режиме секции подстанции работают отдельно. Изменение фронта горных работ, перемещение горных машин, проведение планово-предупредительных работ на линиях, переключения линий при остановке оборудования на профилактику, ремонтах или ликвидации аварий и т.п. приводит к тому, что в условиях эксплуатации в широких пределах колеблется общая

протяженность внутрикарьерных линий. Это вызывает значительные изменения сопротивлений фаз сети относительно земли (рисунок 2.8).

Следует отметить, что емкостное сопротивление изоляции карьерной распределительной сети относительно земли, в основном, определяется ее протяженностью и количеством подключенного электрооборудования.

Поэтому во время проведения измерения необходимо одновременно контролировать информацию о схеме сети.

Измерения проводятся на главной понизительной подстанции с использованием оборудования резервной ячейки напряжением 6 кВ.

На основании исследования метода измерения параметров изоляции относительно земли и оценки его точности разработана методика измерений в электрических сетях напряжением 6 – 35 кВ.

1. Первоначально рассчитывается ориентировочная величина дополнительной емкости ΔC (мкФ) по формуле [95]:

$$\Delta C = \frac{(200 \dots 300) \sqrt{3} \cdot I_c}{\omega \cdot U_{\text{л}}}, \quad (2.16)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, кВ;

ω – круговая частота напряжения сети, $\omega = 314$ с⁻¹.

Величина емкостного тока сети приближенно может быть рассчитана по формуле [80, 95]:

$$I_c = \frac{U_{\text{л}}}{350} \cdot (35L_{\text{к}} + L_{\text{в}}). \quad (2.16)$$

где $L_{\text{к}}$, $L_{\text{в}}$ – суммарная длина кабельных и воздушных линий, км;

2. Подбирается один, либо группа конденсаторов суммарной емкостью ΔC_1 равной, или несколько большей ΔC , на рабочее напряжение, равное или большее линейного напряжения сети $U_{\text{л}}$. Уточняется емкость подобранной группы конденсаторов путем проведения измерений методом амперметра-вольтметра по схеме рисунка 2.9 и расчета по формуле [95, 123]:

$$\Delta C = \frac{I \cdot 10^{-6}}{\omega \cdot U}, \quad \text{мкФ}, \quad (2.17)$$

где I – ток, протекающий через конденсатор или группу конденсаторов, А;

U – напряжение, приложенное к конденсаторам, В.

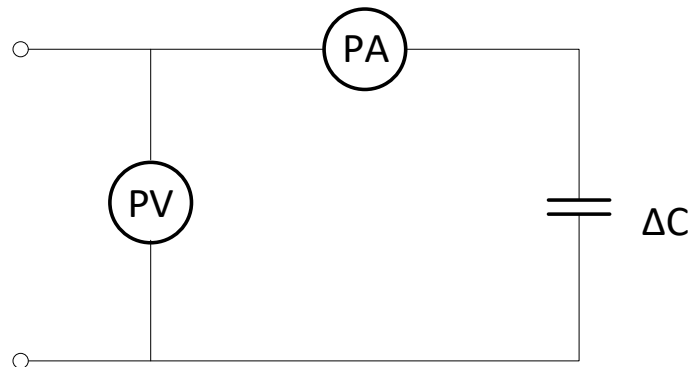


Рисунок 2.9 – Схема измерения емкости подобранной группы конденсаторов

3. Производится измерение изоляции между выводами и корпусом каждого отдельного конденсатора мегаомметром на напряжение 2500 В. В соответствии с [88] каждый конденсатор испытывается повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений приведены в таблице 2.3. Длительность испытаний 10 с.

При отсутствии источника тока достаточной мощности испытания повышенным напряжением промышленной частоты могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением, значение которого должно быть вдвое больше указанного в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Испытательные напряжения промышленной частоты силовых конденсаторов

Вид испытания	Испытательное напряжение, кВ, для конденсаторов с рабочим напряжением, кВ	
	6.3	10.5
Между выводами	10.2	17.0
Между выводами и корпусом	15.0	21.0

4. Исследования искомых параметров производится с использованием оборудования резервной ячейки, и принципиальная электрическая схема измерения собирается согласно рисунку 2.10.

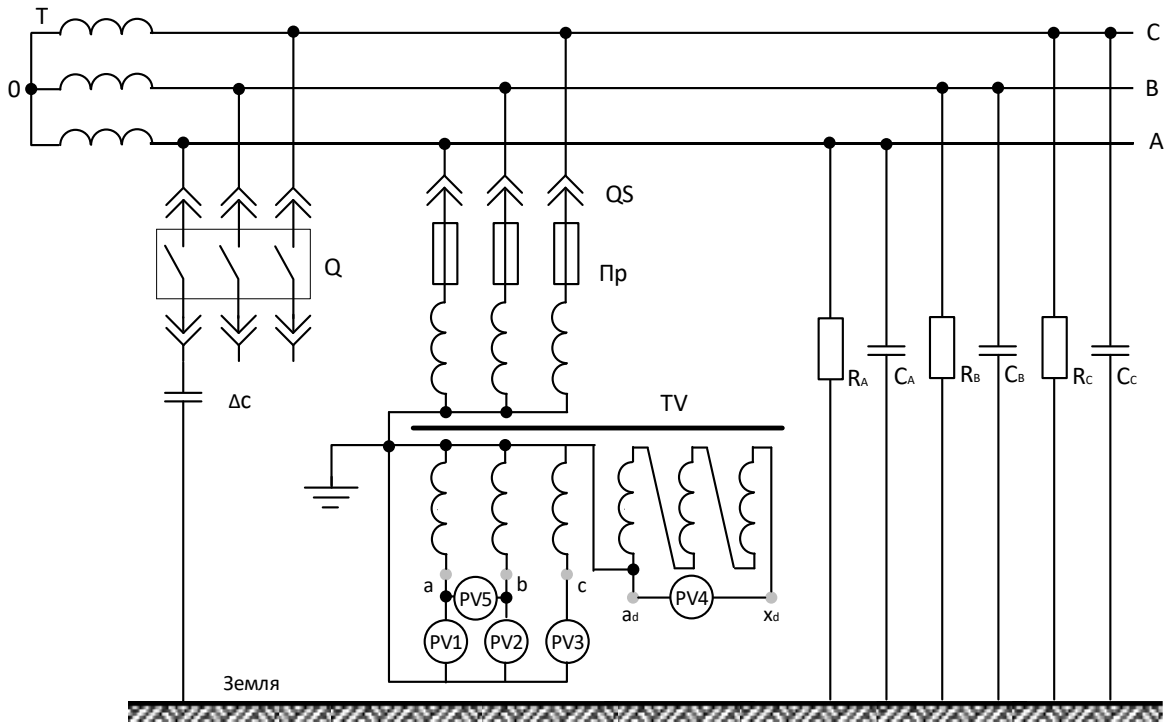


Рисунок 2.10 – Схема измерения при подключении к сети дополнительной емкости

Здесь приняты следующие обозначение:

- TV – трансформатор напряжения типа НТМИ-6;
- PV1, PV2 и PV3 – вольтметры для измерения напряжений фаз сети относительно земли ($U_{ф.01}$);
- PV4 – вольтметр, для измерения напряжения между нейтралью трёхфазной сети и землей ($U_{01.0}$);
- PV5 – вольтметр, для измерения линейного напряжения сети ($U_{л}$);
- Q – выключатель, коммутирующий дополнительную емкость между фазой A электрической сети и землей;
- ΔC – дополнительная ёмкость, которая подключалась между фазой A электрической сети и землей.

5. После сборки схемы измерений до подключения ΔC измеряют $U_{01.0}$ (вольтметр PV4). Если это напряжение не превышает $1\% U_{\phi}$ (35 В для сети 6 кВ и 58 В для сети 10 кВ), то в дальнейшей работе используются показания вольтметров PV1, PV4, PV5 и между одной из фаз сети и землей подключают ΔC (в данном случае фаза А). Фиксируют одновременно $U_{\text{л}}$ (вольтметр PV5) и $U_{\phi,01}$ (вольтметр PV3, измерения относятся к той фазе, к которой подключена ΔC), а также напряжение несимметрии $U_{01.0}$ между нейтралью трехфазной сети и землей.

В процессе проведения исследований при подключении дополнительной емкости одновременно с измерением напряжения фиксируют температуру, солнечную радиацию, количество осадков и относительную влажность.

Если $U_{01.0}$ превышает $1\% U_{\phi}$, то до подключения ΔC одновременно измеряют напряжение одной из фаз относительно земли (вольтметр PV3), а также $U_{\text{л}}$ (вольтметр PV5). Затем к той же фазе подключают ΔC и после подключения еще раз одновременно измеряют указанные выше напряжения.

6. Расчет параметров изоляции фаз сети относительно земли проводят по формулам:

а) полная емкость изоляции фаз сети относительно земли:

– при напряжении несимметрии в сети $U_{\text{НС}} \leq 1\%$

$$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \left(\frac{U_{\phi}}{U_{\text{ни}}} - 1 \right), \quad (2.19)$$

– если $U_{\text{НС}} \geq 1\%$

$$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \frac{U'_{\text{А}}/U'_{\text{Л}}}{U_{\text{А}}/U_{\text{Л}} - U'_{\text{А}}/U'_{\text{Л}}}, \quad (2.20)$$

б) активная составляющая сопротивления изоляции фаз сети относительно земли:

$$R_{\text{из}} = \frac{3}{d\omega C_{\Sigma}} = \frac{1}{d\omega C_{\phi}}. \quad (2.21)$$

В таблице 2.4 приведен перечень необходимых приборов, оборудования и их характеристики.

Таблица 2.4 – Перечень необходимых приборов и оборудования

Обозначение в схеме	Наименование прибора	Тип	Класс точности	Пределы измерения
ΔC	Конденсатор (группа конденсаторов)			
PV1...PV3, PV5	Вольтметр	Э-514	0,5	150; 300 В
PV4	Вольтметр	Э-514	0.5	7.5; 15; 30; 60 В

Примечание: Емкость конденсатора ΔC определяется для конкретной сети.

2.4 Выводы

1 В результате анализа известных методов определения параметров изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях выявлены их достоинства и недостатки.

2 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.

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

3 АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Для обеспечения достоверности результатов, которые будут получены в реальных распределительных электрических сетях, необходимо исследовать влияние различных факторов на предлагаемую методику. Это может быть выполнено аналитическим способом, экспериментальным методом, однако, на наш взгляд, наиболее подходящим является метод компьютерного моделирования.

3.1 Разработка компьютерной модели распределительных электрических сетей

Исследование реальной КРС вызывает, как правило, определенные трудности, связанные с организационными и техническими мероприятиями, обеспечивающими электробезопасность исследователей и остальных работников, занятых в это время на тех или иных работах [120].

В связи с указанными трудностями в настоящее время компьютерное моделирование в научных и практических исследованиях является одним из основных методов познания. Развитие современных компьютерных технологий существенно изменило подходы к решению проблем проектирования сложных технических систем.

Среди существующих программ компьютерного моделирования [54-56, 71, 78, 100, 150] следует выделить многофункциональный программный комплекс MATLAB [54], который с помощью пакетов разрешения легко адаптируется к решению различных математических и технических задач. Для получения результатов, характеризующих различные процессы в КРС, целесообразно использовать ее имитационную модель, созданную с помощью программных средств MATLAB Simulink, и ее библиотеки SimPowerSystems.

На рисунке 3.1 представлена компьютерная модель электрической сети с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ.

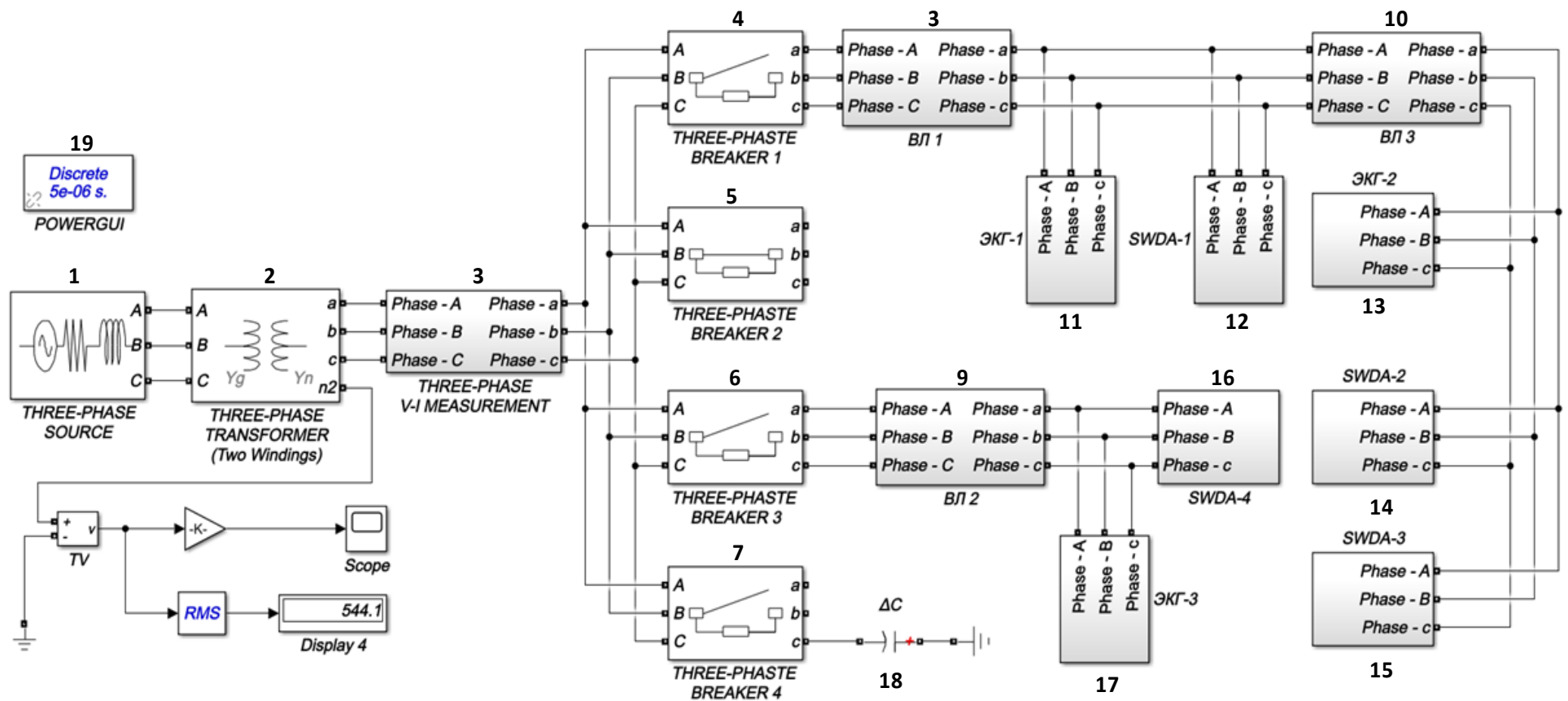


Рисунок 3.1 – Компьютерная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ: 1 – трехфазный источник напряжением 35 кВ; 2 – блоки, моделирующие трехфазные трансформаторные подстанции; 3 – блоки измерительных приборов; 4, 5, 6, 7 – выключатели; 8 – 17 – блоки, моделирующие воздушные и кабельные линии с экскаваторами и буровыми станками; 18 – дополнительные емкостные проводимости, 19 – блок «Powergui» A, B, C – обозначение фаз на входе блока; a, b, c — обозначение фаз на выходе блока

Блок POWERGUI – графический интерфейс пользователя. Он служит для задания начальных условий, создания файла характеристик намагничивания для модели трансформатора с учетом насыщения сердечника, определения импеданса цепи, вычисления параметров линии электропередачи, расчета установившегося режима, дискретизации модели, анализа схемы с помощью инструмента Simulink LTI-Viewer, выполнения гармонического анализа.

Блок 3 (рисунок 3.1) – набор измерительных приборов для определения значений режимных параметров сети, в первую очередь – токов и напряжений в фазах. Выключатели, установленные на главной понизительной подстанции, смоделированы при помощи стандартных блоков 4–7, а дополнительные емкости – блоком 18, подключенным к резервной ячейке.

Отметим также, что измерение величины напряжения смещения нейтрали после подключения дополнительной емкости в блоке 3 (рисунок 3.1) не измеряется, поэтому оно определяется через блок TV, подключенный к нейтрали трансформатора.

В модели также использованы блоки Scope (виртуальный осциллограф, отображающий графические зависимости исследуемых величин в функции времени в форме, напоминающей осциллограммы современного цифрового осциллографа), Display (предназначен для представления числовых значений измеряемых величин на экране) и RMS (служит для измерения действующего значения сигнала, поступающего на вход), (рисунок 3.1).

3.2 Определение параметров компьютерной модели распределительной электрической сети

Известно, что получаемые результаты зависят от того, на сколько модель обеспечивает адекватность исследуемых с ее помощью параметров.

В модели энергосистема моделируется с помощью стандартного блока «Three-Phase Source» (1) из библиотеки «SimPowerSystem» [37]. Этот блок моделирует трехфазный источник питания с первичным напряжением 35 кВ.

При моделировании задаются следующие параметры:

- действующее междуфазное напряжение, В;
- начальная фаза напряжения, равная 0° для фазы А;
- частота сети, Гц;
- активное сопротивление источника, Ом;
- индуктивность источника, Гн.

Активное сопротивление и индуктивность энергосистемы в общем случае рассчитывается следующим образом [37]:

1. Полное сопротивление энергосистемы, Ом:

$$Z_{\text{ЭС}} = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{КЗ}}}, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение источника, В;

$S_{\text{КЗ}}$ – мощность трёхфазного короткого замыкания на высоковольтных вводах трансформатора, ВА.

2. Внутреннее активное сопротивление энергосистемы, Ом,

$$R_{\text{ЭС}} = \frac{Z_{\text{ЭС}}}{\sqrt{1 + K^2}}, \quad (3.2)$$

где K – отношение индуктивного сопротивления энергосистемы к ее активному сопротивлению [68].

Численное значение отношения K определится по формуле:

$$K = \frac{X_{\text{ЭС}}}{R_{\text{ЭС}}} = \frac{\pi}{\ln(K_{\text{уд}} - 1)}, \quad (3.3)$$

где $X_{\text{ЭС}}$ – внутреннее индуктивное сопротивление энергосистемы, Ом;

$K_{\text{уд}}$ –ударный коэффициент.

3. Индуктивность источника, Гн,

$$L_{\text{ЭС}} = \frac{K \cdot R_{\text{ЭС}}}{2\pi f}. \quad (3.4)$$

Следует отметить, что в моделях электротехнических элементов библиотеки SimPowerSystems принято работать с индуктивностью (Гн) и емкостью (Ф), а не с индуктивным и емкостным сопротивлениями соответственно.

На рисунке 3.2 представлен внешний вид окна задания параметров источника питания.

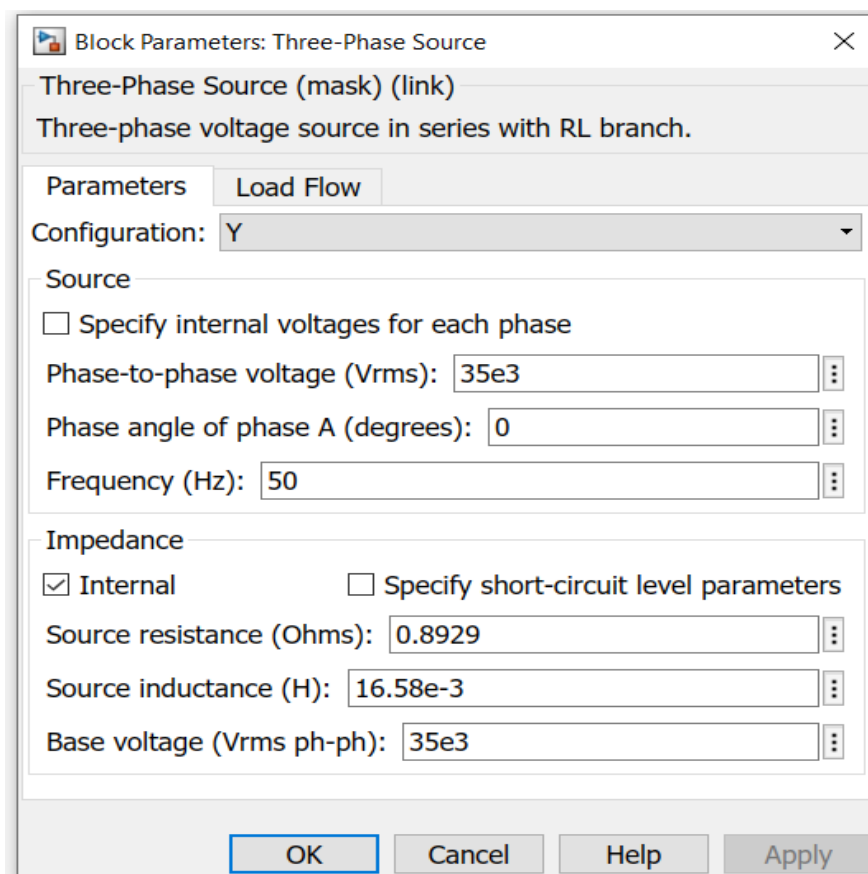


Рисунок 3.2 – Окно задания параметров блока «Three-Phase Source»

Трансформатор был смоделирован при помощи стандартного блока «Three-Phase Transformer Inductance Matrix Type (Two Windings)» (2). При моделировании задаются следующие параметры [71]:

Активное сопротивление обмоток в относительных единицах:

$$R_{1*} = R_{2*} = \frac{\Delta P_{K3}}{2S_{HT}}, \quad (3.5)$$

где ΔP_{K3} – активные потери мощности в режиме холостого хода, Вт

$S_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, ВА.

Полное сопротивление обмоток в относительных единицах:

$$Z_{1*} = Z_{2*} = \frac{U_{кз\%}}{200}, \quad (3.6)$$

где $U_{кз\%}$ – напряжение короткого замыкания.

Индуктивное сопротивление трансформатора в относительных единицах определяется:

$$X_{1*} = X_{2*} = \sqrt{Z_{1*}^2 - R_{1*}^2}. \quad (3.7)$$

Индуктивность обмоток трансформатора в относительных единицах определяется:

$$L_{1*} = L_{2*} = X_{1*}. \quad (3.8)$$

Полные потери мощности в режиме холостого хода трансформатора определяются:

$$\Delta S_{X*} = \frac{I_{XX\%}}{100}, \quad (3.9)$$

где $I_{XX\%}$ – ток холостого хода трансформатора;

Намагничивающая мощность трансформатора:

$$Q_{X*} = \sqrt{\Delta S_{X*}^2 - \Delta P_{X*}^2}. \quad (3.10)$$

Активное и индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$R_{\mu*} = \frac{S_{ном}}{\Delta P_{xx}}, \quad (3.11)$$

$$X_{\mu*} = \frac{1}{\Delta Q_{x*}}, \quad (3.12)$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu*} = \frac{100}{I_{xx\%}}. \quad (3.13)$$

Окно задания параметров блока, моделирующего двухобмоточный линейный трансформатор, приведено на рисунке 3.3. Здесь указаны параметры трансформатора, задаваемые в программе MATLAB по расчету.

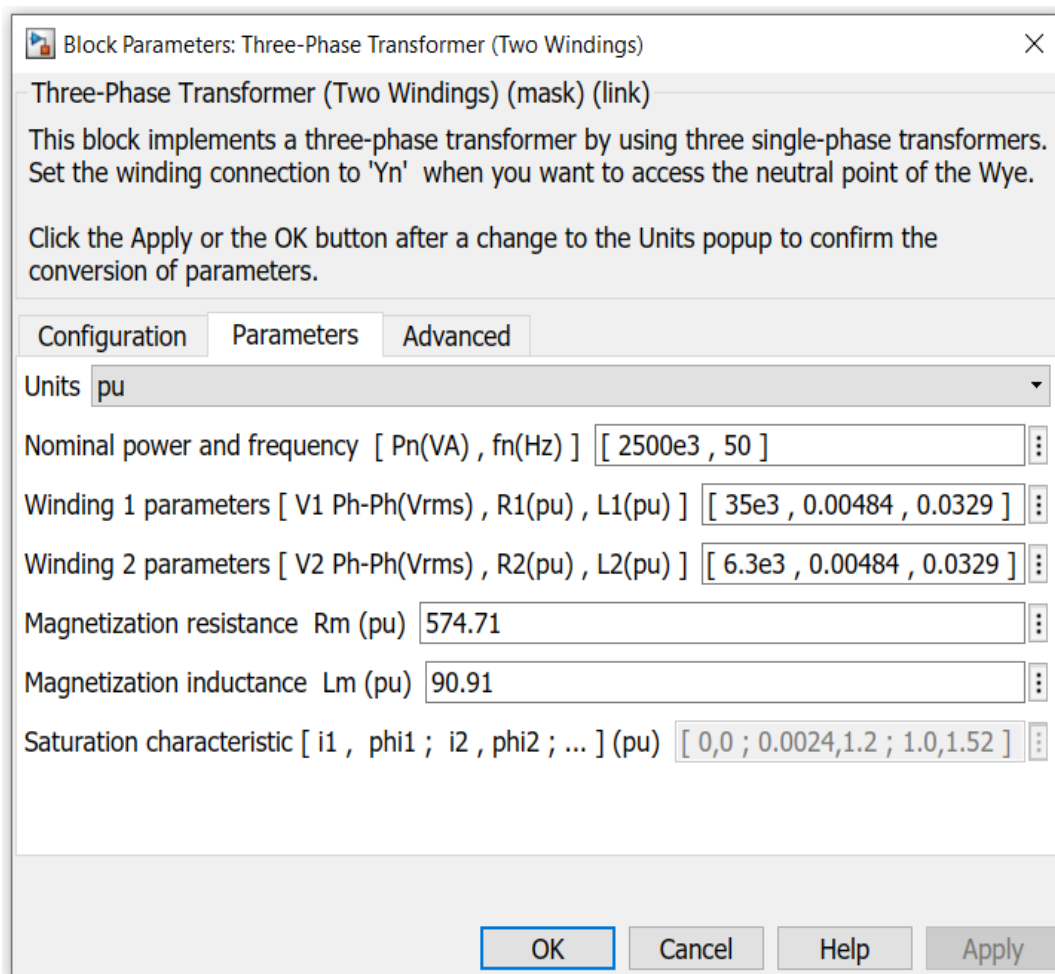


Рисунок 3.3 – Окно настроек блока Linear Transformer с параметрами трансформатора, задаваемыми в программе MATLAB по расчету

Блоки 8 – 17 моделируют воздушные и кабельные линии напряжением 6 кВ с нагрузками (экскаваторы и буровые станки). На рисунке 3.4 представлена схема одной из линий с нагрузкой.

В схеме использованы следующие блоки:

- блок «Three-Phase PI Section Line» сопротивлений, учитывающих параметры кабельных или воздушных линий;
- блок «Series RLC» ветви для интерпретации сопротивления изоляции фаз сети относительно земли;
- блок «Three-Phase Series RLC Load», эквивалентная статическая нагрузка узлов сети (экскаваторы и буровые станки).

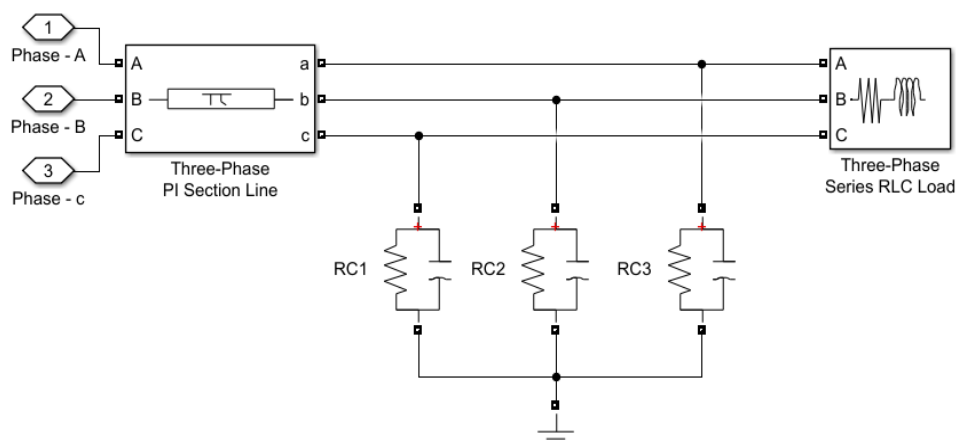


Рисунок 3.4 – Внутренняя схема воздушной и кабельной линий

Воздушная и кабельная линии электропередачи моделируются блоками «Three-Phase PI Section Line» (рисунок 3.4). Блоки «ThreePhase PI Section Line» соответствует трехфазная трехпроводная линия со следующими сосредоточенными параметрами:

- частота сети, 50 Гц;
- удельные активное, индуктивное и емкостное сопротивления прямой и нулевой последовательностей на 1 км длины линии;
- длина линии, км.

Расчет параметров для воздушной линии ведется по следующим выражениям:

- удельное активное сопротивление, Ом/км [58]:

$$r_{уд(0)} = r_{уд(1)} = \frac{\rho}{F}, \quad (3.14)$$

где ρ – удельное активное сопротивление материала провода, Ом·мм²/км. Для алюминия в зависимости от его состава принимают $\rho = 29,5 \div 31,5$ Ом·мм²/км, а для меди $\rho = 18 \div 19$ Ом·мм²/км.

F – сечение фазного провода, мм².

- Удельная индуктивность, Гн/км [69]:

$$l_{уд(0)} = l_{уд(1)} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\frac{\mu}{4} + \ln \left(\frac{D}{R} \right) \right] \cdot 10^3, \quad (3.15)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – абсолютная магнитная проницаемость вакуума;

μ – относительная магнитная проницаемость материала проводника – для алюминия и меди $\mu=1$;

$D = \sqrt[3]{D_{AB} + D_{BC} + D_{CA}}$ – среднее геометрическое расстояние между фазными проводами, см;

D_{AB}, D_{BC}, D_{CA} – расстояние между осями фазных проводов, см;

R – радиус провода, см.

Следует отметить, что в блоках «Three-Phase PI Section Line» удельная емкость линии рассчитывается согласно [73], мкФ/км.

$$C_{уд(0)} = C_{уд(1)} = \frac{1}{18 \ln \left(\frac{D}{R} \right)}. \quad (3.16)$$

Параметры изоляции фаз сети относительно земли моделируются блоками «Series RLC Branch (RC1 – RC3)» (рисунок 3.4).

Укажем, что значение емкостей сети относительно земли были выбраны с учетом особенностей эксплуатации карьерной распределительной сетей [128, 129].

Параметры сопротивления изоляции сети относительно земли определяются:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad (3.17)$$

$$R = \frac{1}{d \cdot \omega \cdot C}. \quad (3.18)$$

где X_C – реактивное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли;

R – активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли;

d – коэффициент успокоения сети, который зависит от вида сети. Для сетей, состоящих преимущественно из кабельных линий, $d = 0,03–0,05$, для сетей, состоящих преимущественно из воздушных линий, $d = 0,3–0,5$ [123, 130].

Окно задания параметров блока для моделирования одной из воздушной трехфазной линии «Three-Phase PI Section Line» приведено на рис.3.5.

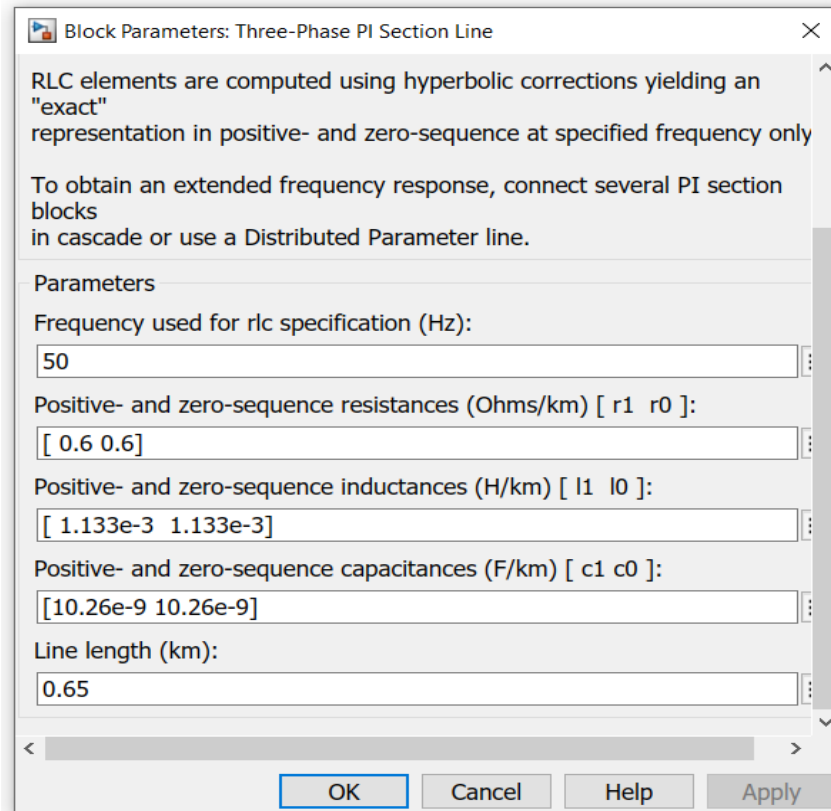


Рисунок 3.5 – Окно задания параметров блока «Three-Phase Pi Section Line»

Электрическая нагрузка была смоделирована при помощи блоков «Three-Phase Series RLC Load». Численные значения элементов модели нагрузки задаются значениями активной (P) и реактивной (индуктивной – Q_L или емкостной – Q_C мощностей).

Следует отметить, что эти блоки применимы только для моделирования симметричных нагрузок, в них удобно вводить параметры нагрузки сразу для всех фаз. Если нагрузка трехфазной цепи несимметрична, следует использовать блоки однофазных нагрузок. В них параметры задаются отдельно для каждой фазы нагрузки.

Величины мощностей могут быть определены по следующим выражениям [71]:

$$P = R \cdot \frac{U^2}{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L \right)^2}, \quad (3.19)$$

$$Q_L = \omega L \cdot \frac{U^2}{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}, \quad (3.20)$$

$$Q_C = \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{U^2}{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}, \quad (3.21)$$

где P – активная мощность;

R – активное сопротивление нагрузки;

C – емкостное сопротивление нагрузки;

L – индуктивное сопротивление нагрузки;

ω – круговая частота напряжения;

U – действующее значение напряжения;

Q_L – реактивная мощность индуктивности;

Q_C – реактивная мощность емкости.

3.3 Проверка адекватности разработанной компьютерной модели

Указанная проверка была проверена на основе реальной КРС одного из горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [110, 114, 117], принципиальная схема которой приведена на рисунке. 3.6.

Карьер «Джилау» является типичным представителем золоторудных предприятий с открытой разработкой месторождений полезных ископаемых, основные технологические процессы которых механизированы и электрифицированы.

Применение большого количества мощных электропотребителей, тяжелый режим их работы обуславливают жесткие требования, предъявляемые к созданию рациональных схем электроснабжения.

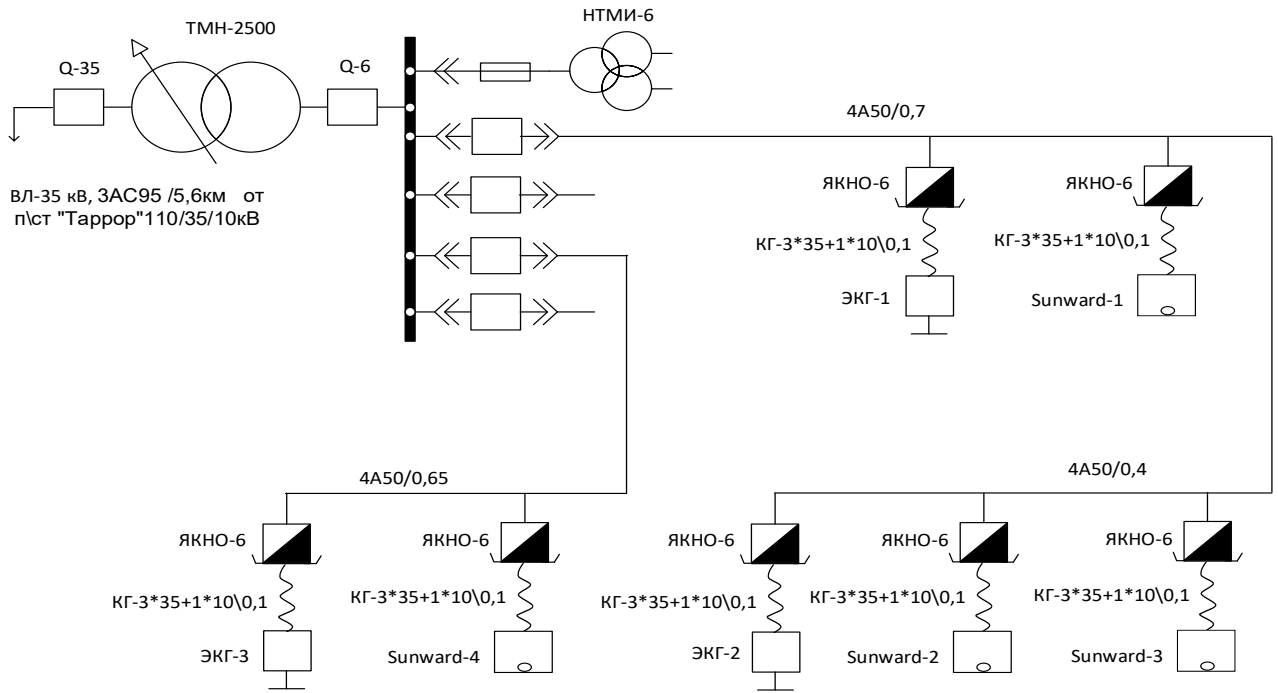


Рисунок 3.6 –Электрическая схема карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ

Электроснабжение карьера осуществляется от районной подстанции «Таррор» по двум линиям напряжением 35 кВ длиной 5,6 км. Питание потребителей карьера производится, в основном, по смешанной схеме электроснабжения напряжением 6 кВ. Карьерная трансформаторная подстанции имеет две секции шин напряжением 6 кВ, получающих питание от силового трансформатора типа ТМН-2500/35/6 через вводные ячейки [64, 166].

Основными потребителями карьера являются три экскаватора типа ЭКГ и четыре буровых станка типа SWDA-165A (Sunward), которые подключаются к воздушным линиям через приключательные пункты ПП-6 и ЯКНО-6 кабелями типа КГ сечением 3x35x1x10 длиной 100 м. Протяжённость воздушных линий составляет соответственно Л1=700 м, Л2=650 м, Л3=400 м (рисунок 3.6) [1, 111].

Адекватность имитационной модели проверялась по величине тока I_{O33} . Величина тока ОЗЗ измеряется через блок «ТС» и сопротивление замыкания на землю $R_{зам}$, которые подключены между фазой А и землей.

На рисунке 3.7 приведен результат одного из измерений замыкания фазы А на землю, при $R_{зам} = 0$.

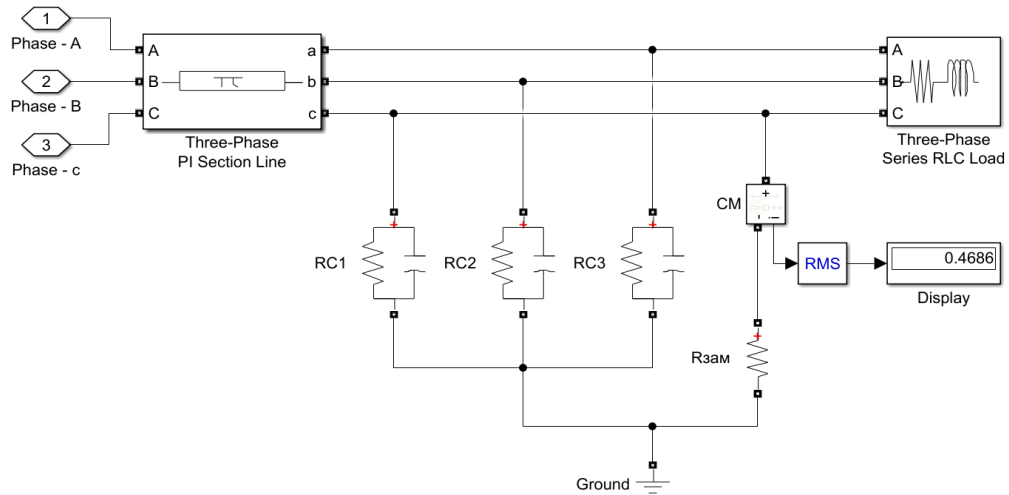


Рисунок 3.7 –Проверка адекватности модели

Для подтверждения адекватности компьютерной модели сравним значения, полученные при измерении тока ОЗЗ на имитационной модели и значения, полученные расчетным путем.

Сравнение результатов на имитационной модели и при аналитическом расчете представлены в таблице 3.1.

Таблица 3. 1 – Сравнение результатов

№	Расчетное значение $I_{OЗЗ}, A$	Результат измерения		Погрешность, $\delta \%$
		$R_{зам}, Ом$	$I_{OЗЗ}, A$	
1	0,45	0	0,4686	-4,13
2	-	10	0,4684	-4,08
2	-	20	0,4682	-4,04
3	-	30	0,468	-4
4	-	40	0,4678	-3,95
5	-	50	0,4676	-3,91
6	-	60	0,4675	-3,88
7	-	70	0,4673	-3,84
8	-	80	0,467	-3,77
9	-	90	0,4669	-3,75
10	-	100	0,4667	-3,71

Из данных таблицы 3.1 следует, что результаты, полученные на имитационной модели и при аналитическом расчете, имеют небольшое расхождение, что позволяет нам считать адекватной имитационную модель.

3.4 Исследование погрешностей в определении параметров распределительных электрических сетей на разработанной модели

Точность является одним из основных требований, предъявляемых к методам определения параметров изоляции фаз сети относительно земли распределительных электрических сетей.

Анализ погрешностей предложенного метода производится с целью разработки практических рекомендаций, обеспечивающих заданную точность с достижением простоты, удобства, безопасности, а также с обеспечением нормальной работы электроприемников при производстве измерений.

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

Выбор дополнительной емкости подробно рассмотрен во второй главе. Оценим влияние точности выбора этой емкости на искомый результаты.

На рисунке 3.8 и в таблице 3.2 приведены данные по реальной КРС, полученные при различных значениях дополнительной емкости.

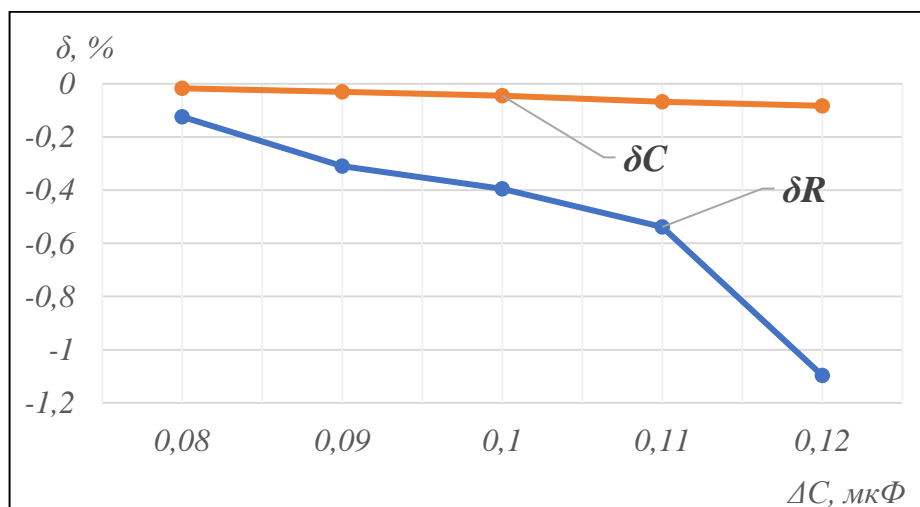


Рисунок 3.8 – Влияние выбора ΔC на погрешность полученных результатов

Из данных таблицы 3.2 следует, что наименьшая погрешность в определении параметров изоляции фаз сети относительно земли для одной из конкретных карьерных распределительных электрических сетей Республики Таджикистан обеспечивается при значении дополнительной емкости 0,08 мкФ.

Таблица 3.2 – Влияние выбора ΔC на погрешность полученных результатов

Номер замера	ΔC , мкФ	R_{ϕ} и C_{ϕ} , полученные при измерениях		R_{ϕ} и C_{ϕ} , заданные в модели		Погрешность	
		$R_{ИЗ}$, Ом	C_{ϕ} , мкФ	$R_{ИЗ}$, Ом	C_{ϕ} , мкФ	$\delta R_{ИЗ}$, %	δC_{ϕ} , %
1	0,08	77188,677	0,137723	77093,04	0,1377	-0,124	-0,0169
2	0,09	77332,336	0,137741	77093,04	0,1377	-0,31	-0,0297
3	0,1	77397,852	0,137762	77093,04	0,1377	-0,395	-0,045
4	0,11	77506,554	0,137794	77093,04	0,1377	-0,536	-0,068
5	0,12	77938,781	0,137814	77093,04	0,1377	-1,097	-0,0827

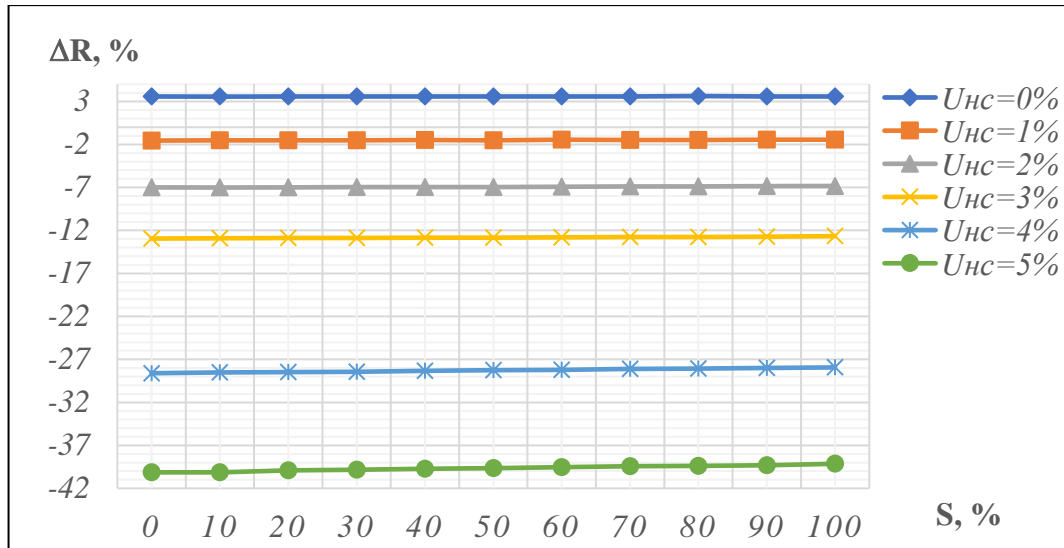
Оценим влияние на точность измерения сопротивления изоляции фаз сети относительно земли характера и величины нагрузки, а также несимметрии в сети во время измерений на разработанной компьютерной модели.

Исследования погрешностей определения параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились для методик, основанных на подключении к одной из фаз дополнительной емкости.

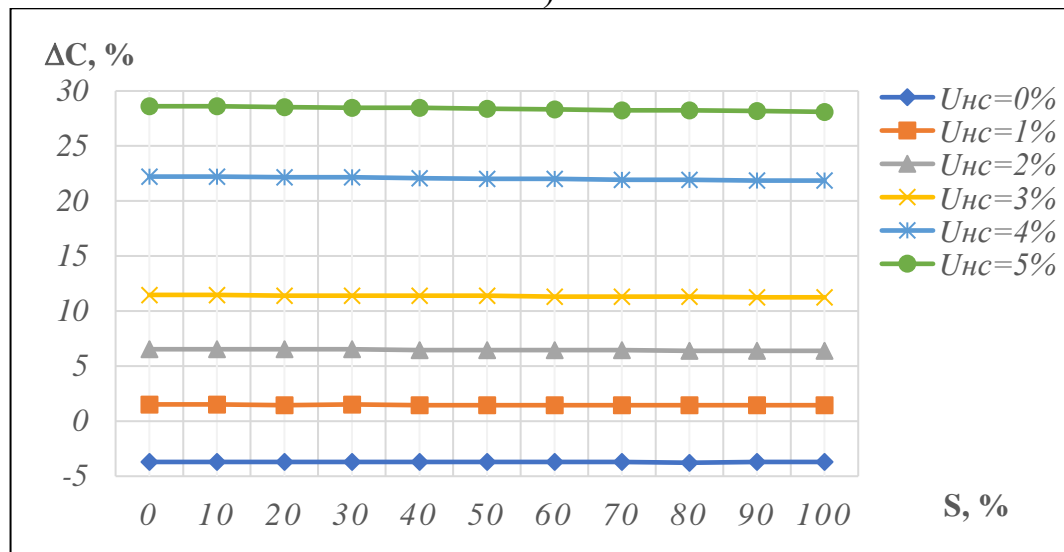
Для выявления влияния на результаты измерений естественной несимметрии в карьерной распределительной сети, характера и величины нагрузки в ней, а также для принятия окончательного решения по вопросу проведения реальных исследований в КРС нами были рассмотрены и исследованы эти методики, подробно описанные в [74, 95, 120].

При этом мы рассматривали влияние характера и величины нагрузки при изменении ее от 0 до 100 %, а естественной несимметрии – от 0 до 5 % [43]. Несимметрия создается сопротивлениями изоляции фаз сети относительно земли.

На рисунке 3.9 показано влияние величины полной нагрузки при изменении ее от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % на результаты определения искомых параметров по методике, приведенной в [95].



а)

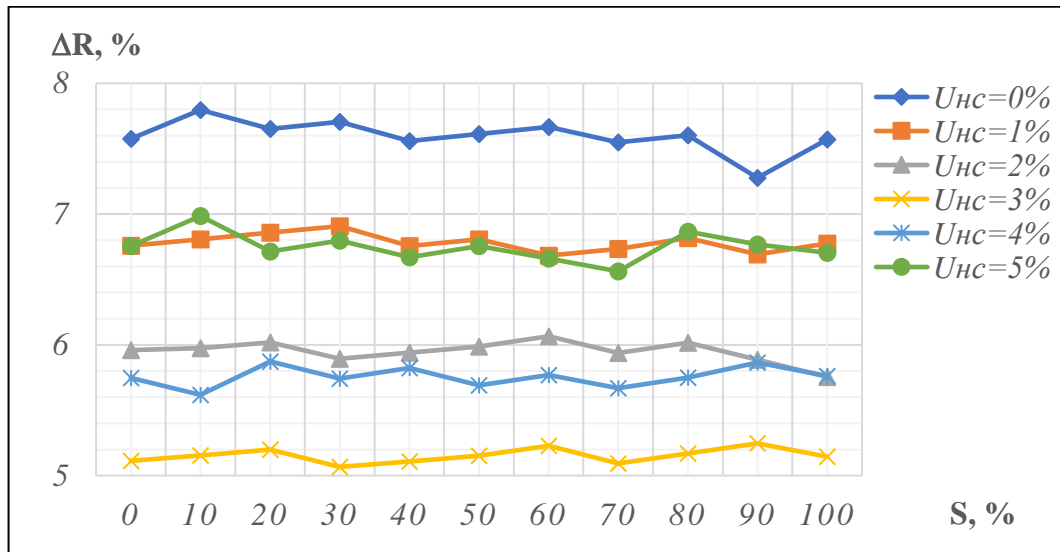


б)

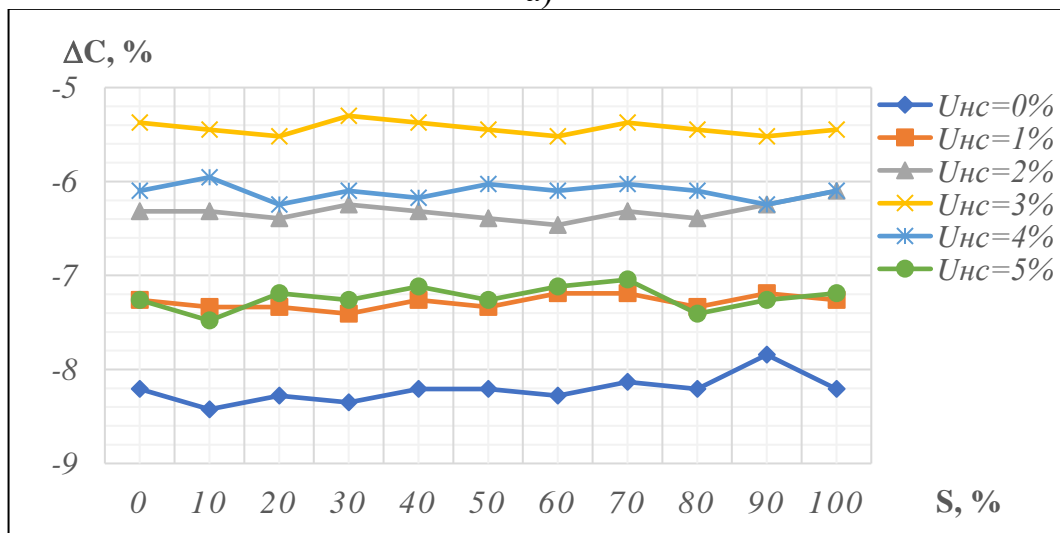
Рисунок 3.9 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_{ϕ} (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [95])

Из рисунков 3.9 а) и 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 рисунке 3.10 показано влияние тех же факторов на интересующие нас параметры, определяемые так, как предложено в [120].



а)

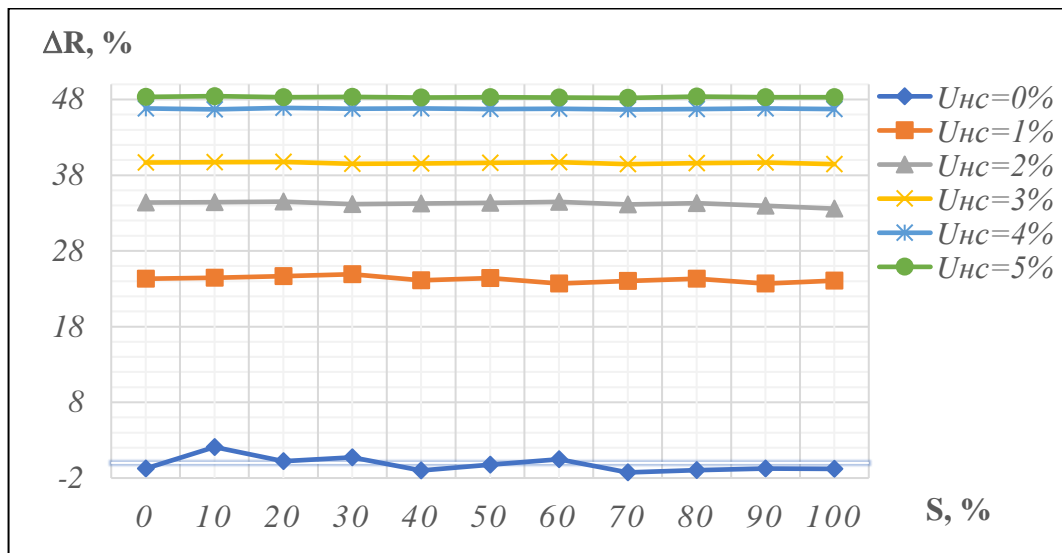


б)

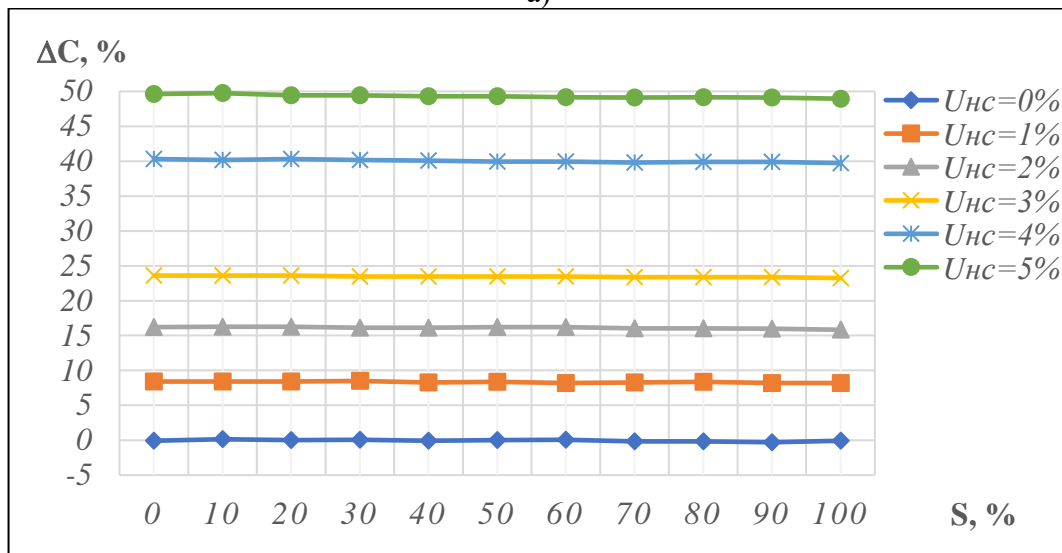
Рисунок 3.10 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_ϕ (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [120])

Анализ изменения погрешностей показывает (рисунки 3.10 а) и б)), что интересующие нас факторы оказывают незначительное влияние на результаты измерений. Погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8,3 %.

На рисунке 3.11 показано аналогичное влияние величины полной нагрузки и несимметрии, но по методике, приведенной в [74].



а)



б)

Рисунок 3.11 – Зависимости погрешностей δR (а) и δC_{ϕ} (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [74])

Согласно рисункам 3.11 а) и б) нахождение по этой методике исследуемых параметров может привести к ошибке в определении C_{ϕ} и R_{ϕ} до 50 %.

В таблицах 3.3 - 3.5 представлено влияние величины активной, реактивной и полной нагрузок при изменении последних от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % на результаты измерений по методикам, указанным выше, а в таблицах В1 – В7 приведены результаты исследований на компьютерной модели (См. приложение В).

Таблица 3.3 – Данные о погрешностях (в %) измерений различными методиками при изменении активной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии от 0 до 5%

Относительная погрешность δR_{ϕ} и δC_{ϕ} определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение активной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	1	$R_{ИЗ}$	3,5810	3,5630	3,5766	3,5904	3,5839	3,5773	3,5706	3,5965	3,6315	3,5743	3,5795
		C_{Σ}	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7763	-3,7037
	2	$R_{ИЗ}$	7,5749	7,7962	7,6512	7,7052	7,5583	7,6123	7,6669	7,5486	7,6034	7,2769	7,5701
		C_{Σ}	-8,2062	-8,4241	-8,2789	-8,3515	-8,2062	-8,2062	-8,2789	-8,1336	-8,2062	-8,2062	-7,8431
	3	$R_{ИЗ}$	-0,7558	2,0902	0,2351	0,7420	-0,9965	-0,2492	0,4886	-1,2603	-0,9544	-4,6346	-0,7996
		C_{Σ}	-0,0726	0,1452	0,0000	0,0726	-0,0726	0,0000	0,0726	-0,1452	-0,1452	-0,2905	-0,0726
$U_{НС}=1\%$	1	$R_{ИЗ}$	-1,5491	-1,5272	-1,5184	-1,4964	-1,4670	-1,4581	-1,4831	-1,4536	-1,4240	-1,4283	-1,4119
		C_{Σ}	1,5251	1,5251	1,5251	1,4524	1,4524	1,4524	1,4524	1,4524	1,3798	1,3798	1,3798
	2	$R_{ИЗ}$	6,7586	6,8666	6,9442	6,8527	6,7303	6,8081	6,8553	6,7325	6,8106	6,8580	6,9056
		C_{Σ}	-7,2622	-7,4074	-7,4800	-7,3348	-7,1895	-7,3348	-7,3348	-7,1895	-7,3348	-7,3348	-7,3348
	3	$R_{ИЗ}$	24,3358	24,7448	25,0581	24,5796	23,9244	24,2487	24,5467	23,8879	24,1428	24,3729	24,5314
		C_{Σ}	8,4241	8,4241	8,4967	8,3515	8,2062	8,2789	8,3515	8,2062	8,2062	8,2789	8,2789
$U_{НС}=2\%$	1	$R_{ИЗ}$	-6,9982	-6,9954	-6,9564	-6,9174	-6,9296	-6,9056	-6,8604	-6,8362	-6,7908	-6,6003	-6,7725
		C_{Σ}	6,5359	6,5359	6,5359	6,4633	6,4633	6,4633	6,3907	6,3907	6,3907	6,1728	6,3181
	2	$R_{ИЗ}$	5,9588	6,0361	5,9429	5,8496	6,0981	5,9735	6,0513	5,9264	6,0043	5,1907	6,0980
		C_{Σ}	-6,3181	-6,3907	-6,3181	-6,2455	-6,4633	-6,3181	-6,4633	-6,3181	-6,3907	-5,4466	-6,4633
	3	$R_{ИЗ}$	34,3730	34,5608	34,2666	33,9670	34,6106	34,2616	34,3843	34,0296	34,1536	31,6253	34,3605
		C_{Σ}	16,1946	16,2672	16,1220	16,0494	16,1946	16,1220	16,1220	15,9768	15,9768	15,0327	15,9768

Примечание в последующих таблицах: 1 – методика приведенная в [95]; 2 – в [120] и 3 - [74].

Окончание таблицы 3.3

Относительная погрешность δR_{ϕ} и δC_{ϕ} определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение активной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{\text{НС}}=3\%$	1	$R_{\text{ИЗ}}$	-12,9449	-12,9487	-12,8922	-12,8356	-12,7960	-12,7564	-12,7167	-12,6769	-12,6542	-12,6143	-12,5914
		C_{Σ}	11,4742	11,4742	11,4016	11,4016	11,3290	11,3290	11,2564	11,2564	11,2564	11,1837	11,1837
	2	$R_{\text{ИЗ}}$	5,1135	5,1907	5,0959	5,2049	5,0781	5,1556	5,0285	6,5377	5,1521	5,2300	5,2762
		C_{Σ}	-5,3740	-5,4466	-5,3740	-5,5192	-5,3740	-5,4466	-5,3014	-6,9717	-5,4466	-5,5192	-5,5919
	3	$R_{\text{ИЗ}}$	39,6569	39,7865	39,5824	39,7129	39,4692	39,5631	39,3160	41,6697	39,4675	39,5622	39,6190
		C_{Σ}	23,6020	23,6747	23,5294	23,5294	23,3842	23,3842	23,2389	24,2556	23,2389	23,2389	23,2389
$U_{\text{НС}}=4\%$	1	$R_{\text{ИЗ}}$	-28,6089	-28,5392	-28,4694	-28,3995	-28,3293	-28,2821	-28,2348	-28,1642	-28,0935	-28,0225	-27,9977
		C_{Σ}	22,2222	22,2222	22,1496	22,1496	22,0770	22,0770	22,0044	22,0044	21,9317	21,8591	21,8591
	2	$R_{\text{ИЗ}}$	5,7480	5,8591	5,7633	5,6673	5,7466	5,8261	5,6978	5,7774	5,8572	5,7285	5,7762
		C_{Σ}	-6,1002	-6,2455	-6,1002	-6,0276	-6,1002	-6,1728	-6,0276	-6,1002	-6,2455	-6,1002	-6,1002
	3	$R_{\text{ИЗ}}$	46,8155	46,8880	46,8046	46,7202	46,7690	46,8217	46,7160	46,7651	46,8142	46,7036	46,7360
		C_{Σ}	40,3050	40,3050	40,1598	40,0871	40,0871	40,0871	39,9419	39,9419	39,9419	39,7967	39,7967
$U_{\text{НС}}=5\%$	1	$R_{\text{ИЗ}}$	-40,1241	-40,0613	-39,9500	-39,8869	-39,8027	-39,7425	-39,6823	-39,6219	-39,5370	-39,4519	-40,1241
		C_{Σ}	28,6129	28,6129	28,5403	28,5403	28,4677	28,4677	28,3951	28,3951	28,3224	28,3224	28,6129
	2	$R_{\text{ИЗ}}$	6,7558	6,6601	6,7730	6,6771	6,7582	6,8396	6,7113	6,7928	6,8744	6,7458	6,6168
		C_{Σ}	-7,2622	-7,1169	-7,2622	-7,1895	-7,2622	-7,3348	-7,1895	-7,2622	-7,4074	-7,2622	-7,1169
	3	$R_{\text{ИЗ}}$	48,3214	48,2693	48,3284	48,2759	48,3184	48,3614	48,2913	48,3344	48,3772	48,3061	48,2338
		C_{Σ}	49,6006	49,5280	49,5280	49,4553	49,4553	49,4553	49,3101	49,3101	49,3101	49,1649	49,0196

Таблица 3.4 – Данные о погрешностях (в %) измерений различными методиками при изменении реактивной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии от 0 до 5%

Относительная погрешность δR_{ϕ} и δC_{ϕ} определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение реактивной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	1	$R_{ИЗ}$	3,5810	3,5890	3,5769	3,5850	3,5728	3,5926	3,5598	3,5797	3,5791	3,5785	3,5779
		C_{Σ}	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037	-3,7037
	2	$R_{ИЗ}$	7,5749	7,7181	7,6636	7,6085	7,7537	7,5277	7,6737	7,6487	7,6234	7,5979	7,5722
		C_{Σ}	-8,2062	-8,3515	-8,2789	-8,2062	-8,4241	-8,1336	-8,2789	-8,2789	-8,2789	-8,2789	-8,2062
	3	$R_{ИЗ}$	-0,7558	0,9111	0,3818	-0,3794	1,4990	-1,4834	0,6846	0,1707	-0,1329	-0,4418	-0,7561
		C_{Σ}	-0,0726	0,0726	0,0000	0,0000	0,1452	-0,1452	0,0726	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0726
$U_{НС}=1\%$	1	$R_{ИЗ}$	-1,5491	-1,5419	-1,5554	-1,5348	-1,5483	-1,5484	-1,5621	-1,5623	-1,5625	-1,5627	-1,5843
		C_{Σ}	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251	1,5251
	2	$R_{ИЗ}$	6,7586	7,1000	6,8413	6,8131	6,7537	6,7249	6,8690	6,8405	6,8117	6,7827	6,7534
		C_{Σ}	-7,2622	-7,6253	-7,3348	-7,3348	-7,2622	-7,1895	-7,4074	-7,3348	-7,3348	-7,2622	-7,2622
	3	$R_{ИЗ}$	24,3358	25,8059	24,7268	24,5322	24,3110	24,1813	24,8717	24,7462	24,6190	24,4902	24,4319
		C_{Σ}	8,4241	8,6420	8,4967	8,4241	8,4241	8,3515	8,4967	8,4967	8,4967	8,4241	8,4241
$U_{НС}=2\%$	1	$R_{ИЗ}$	-6,9982	-7,0139	-7,0298	-7,0458	-7,0253	-7,0629	-7,0638	-7,0647	-7,0656	-7,0884	-7,0737
		C_{Σ}	6,5359	6,5359	6,5359	6,6086	6,5359	6,6086	6,6086	6,6086	6,6086	6,6086	6,6086
	2	$R_{ИЗ}$	5,9588	5,8959	6,0356	5,9725	5,9404	6,0820	6,0501	6,0180	5,9856	5,9529	5,9523
		C_{Σ}	-6,3181	-6,2455	-6,3907	-6,3181	-6,3181	-6,4633	-6,4633	-6,3907	-6,3907	-6,3181	-6,3181
	3	$R_{ИЗ}$	34,3730	34,2408	34,6135	34,4827	34,3704	34,7791	34,7024	34,6249	34,5464	34,5013	34,4767
		C_{Σ}	16,1946	16,1946	16,3399	16,2672	16,2672	16,4125	16,4125	16,3399	16,3399	16,3399	16,3399

Окончание таблицы 3.4

Относительная погрешность δR_{ϕ} и δC_{ϕ} определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение реактивной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{HC}=3\%$	1	$R_{ИЗ}$	-12,9449	-12,9648	-12,9849	-12,9878	-13,0082	-13,0112	-13,0143	-13,0396	-13,0428	-13,0684	-13,0538
		C_{Σ}	11,4742	11,4742	11,4742	11,4742	11,5468	11,5468	11,5468	11,5468	11,5468	11,5468	11,5468
	2	$R_{ИЗ}$	5,1135	5,0464	5,1839	5,1485	5,2876	5,0446	5,2167	5,1809	5,1447	5,1083	5,1045
		C_{Σ}	-5,3740	-5,3014	-5,4466	-5,4466	-5,5919	-5,3014	-5,5192	-5,4466	-5,4466	-5,4466	-5,3740
	3	$R_{ИЗ}$	39,6569	39,5637	39,8061	39,7509	39,9935	39,6008	39,8842	39,8474	39,7914	39,7538	39,7352
		C_{Σ}	23,6020	23,6020	23,6747	23,6747	23,8199	23,6020	23,7473	23,7473	23,7473	23,7473	23,7473
$U_{HC}=4\%$	1	$R_{ИЗ}$	-28,6089	-28,5838	-28,6048	-28,6029	-28,5774	-28,5753	-28,5497	-28,5474	-28,5690	-28,5431	-28,5648
		C_{Σ}	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222	22,2222
	2	$R_{ИЗ}$	5,7480	5,7146	5,8572	5,8240	5,7905	5,7567	5,7553	5,7211	5,6866	5,6849	5,8654
		C_{Σ}	-6,1002	-6,0276	-6,2455	-6,1728	-6,1728	-6,1002	-6,1002	-6,1002	-6,1002	-6,0276	-6,0276
	3	$R_{ИЗ}$	46,8155	46,7862	46,8970	46,8717	46,8424	46,8166	46,8115	46,7853	46,7627	46,7572	46,8968
		C_{Σ}	40,3050	40,2324	40,3776	40,3776	40,3050	40,3050	40,2324	40,2324	40,2324	40,2324	40,3050
$U_{HC}=5\%$	1	$R_{ИЗ}$	-40,1241	-40,0970	-40,0696	-40,0665	-40,0388	-40,0355	-39,9794	-40,0007	-39,9440	-39,9119	-40,1241
		C_{Σ}	28,6129	28,6129	28,6129	28,6129	28,6129	28,6129	28,5403	28,5403	28,5403	28,5403	28,6129
	2	$R_{ИЗ}$	6,7558	6,7262	6,6964	6,6663	6,6360	6,8182	6,6073	6,7909	6,7935	6,5799	6,5817
		C_{Σ}	-7,2622	-7,1895	-7,1895	-7,1169	-7,1169	-7,3348	-7,0443	-7,2622	-7,2622	-7,0443	-7,0443
	3	$R_{ИЗ}$	48,3214	48,3053	48,2889	48,2727	48,2560	48,3537	48,2397	48,3387	48,3393	48,2239	48,2308
		C_{Σ}	49,6006	49,6006	49,6006	49,5280	49,5280	49,6006	49,4553	49,6006	49,5280	49,3827	49,6732

Таблица 3.5 – Данные о погрешностях (в %) измерений различными методиками при изменении полной нагрузки от 0 до 100% и несимметрии от 0 до 5%

Относительная погрешность δR_ϕ и δC_ϕ определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение реактивной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	1	$R_{ИЗ}$	3,58109	3,5635	3,5772	3,5905	3,5843	3,5771	3,5709	3,5968	3,6319	3,5742	3,5801
		C_Σ	-3,7041	-3,7043	-3,704	-3,7041	-3,7042	-3,7042	-3,7044	-3,7041	-3,7062	-3,7044	-3,7041
	2	$R_{ИЗ}$	7,57521	7,796023	7,65105	7,70531	7,55805	7,612068	7,6671	7,5493	7,6034	7,27702	7,57059
		C_Σ	-8,20603	-8,42404	-8,27907	-8,35108	-8,20609	-8,2061	-8,2792	-8,1343	-8,2064	-7,8435	-8,2068
	3	$R_{ИЗ}$	-0,75605	2,09023	0,23505	0,7423	-0,9975	-0,2496	0,48901	-1,26065	-0,9547	-0,74303	-0,80291
		C_Σ	-0,07309	0,14508	0	0,07303	-0,07302	0	0,073025	-0,1451	-0,1451	-0,2906	-0,07301
$U_{НС}=1\%$	1	$R_{ИЗ}$	-1,5492	-1,52052	-1,5113	-1,5233	-1,4931	-1,5051	-1,4611	-1,4945	-1,4728	-1,4483	-1,4471
		C_Σ	1,5251	1,52503	1,45205	1,52505	1,45204	1,45202	1,45203	1,45203	1,4521	1,4521	1,4521
	2	$R_{ИЗ}$	6,75902	6,808035	6,858065	6,908025	6,7561	6,80705	6,683023	6,7345	6,8176	6,69204	6,77505
		C_Σ	-7,2622	-7,3357	-7,3356	-7,4075	-7,2623	-7,3351	-7,19059	-7,19089	-7,33501	-7,19025	-7,2627
	3	$R_{ИЗ}$	24,3367	24,4591	24,6533	24,9165	24,1336	24,40204	23,6881	24,0371	24,33501	23,6822	24,06058
		C_Σ	8,42411	8,42412	8,42453	8,49725	8,279014	8,35102	8,206045	8,279023	8,35131	8,2064	8,206012
$U_{НС}=2\%$	1	$R_{ИЗ}$	-6,99804	-7,01105	-6,9881	-6,97047	-6,94605	-6,9441	-6,90432	-6,88656	-6,86723	-6,84941	-6,8315
		C_Σ	6,53603	6,53602	6,536089	6,536032	6,463027	6,463026	6,463035	6,463035	6,391032	6,391025	6,391065
	2	$R_{ИЗ}$	5,95902	5,97403	6,020254	5,89303	5,94012	5,987015	6,066012	5,937012	6,0171	5,88712	5,75533
		C_Σ	-6,31805	-6,31806	-6,39108	-6,24509	-6,31807	-6,39104	-6,46303	-6,31801	-6,39112	-6,2451	-6,10158
	3	$R_{ИЗ}$	34,3731	34,433	34,5083	33,1643	34,2431	34,3561	34,491	34,1381	34,3091	33,9494	33,5795
		C_Σ	16,1954	16,2673	16,2671	16,1222	16,1222	16,1951	16,19502	16,04901	16,04901	15,97712	15,8321

Окончание таблицы 3.5

Относительная погрешность δR_{ϕ} и δC_{ϕ} определения параметров изоляции													
Погрешности методик измерений (1,2,3)			Изменение реактивной нагрузки в сети (в %)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{HC}=3\%$	1	$R_{ИЗ}$	-12,9451	-12,9308	-12,8931	-12,8605	-12,8445	-12,8284	-12,7953	-12,7612	-12,7491	-12,7141	-12,6611
		C_{Σ}	11,4741	11,4741	11,4023	11,4023	11,4023	11,4023	11,32901	11,32901	11,32901	11,32901	11,25605
	2	$R_{ИЗ}$	5,11401	5,15602	5,19812	5,06713	5,10901	5,1521	5,22812	5,09402	5,17085	5,2471	5,1451
		C_{Σ}	-5,3741	-5,4473	-5,5191	-5,3044	-5,3741	-5,4473	-5,5191	-5,3743	-5,4473	-5,5191	-5,4473
	3	$R_{ИЗ}$	39,65701	39,7134	39,7515	39,5061	39,5632	39,62056	39,71601	39,4643	39,5812	39,6785	39,4616
		C_{Σ}	23,6021	23,6021	23,6021	23,4575	23,4575	23,4575	23,4575	24,3842	23,3842	23,3842	23,2393
$U_{HC}=4\%$	1	$R_{ИЗ}$	-28,6091	-28,5144	-28,4871	-28,4383	-28,3405	-28,2661	-28,2143	-28,1145	-28,0862	-28,0095	-27,9312
		C_{Σ}	22,2209	22,2209	22,15089	22,15089	22,0771	22,0045	22,0045	21,93201	21,93201	21,8594	21,8593
	2	$R_{ИЗ}$	5,7484	5,6185	5,8736	5,7427	5,8222	5,69065	5,77025	5,66901	5,75078	5,8641	5,76301
		C_{Σ}	-6,1095	-5,9551	-6,245	-6,1095	-6,1734	-6,0284	-6,1095	-6,0284	-6,1095	-6,2457	-6,1095
	3	$R_{ИЗ}$	46,8151	46,7024	46,89012	46,78401	46,82802	46,7153	46,7674	46,6745	46,7312	46,8051	46,7141
		C_{Σ}	40,3051	40,1609	40,3051	40,1609	40,0871	39,9421	39,9421	39,7971	39,8693	39,8693	39,7245
$U_{HC}=5\%$	1	$R_{ИЗ}$	-40,1245	-40,1384	-39,9185	-39,8512	-39,7334	-39,6641	-39,5415	-39,4423	-39,3712	-39,2955	-39,1406
		C_{Σ}	28,6131	28,6131	28,54065	28,4682	28,4682	28,3954	28,3227	28,25065	28,25065	28,1772	28,1053
	2	$R_{ИЗ}$	6,7563	6,9851	6,7145	6,7983	6,6714	6,7561	6,6592	6,5623	6,8655	6,7682	6,7045
		C_{Σ}	-7,2622	-7,48053	-7,19067	-7,2621	-7,1171	-7,2622	-7,1171	-7,0445	-7,4071	-7,2622	-7,19067
	3	$R_{ИЗ}$	48,3209	48,4441	48,2962	48,3413	48,27087	48,3152	48,2613	48,2061	48,3692	48,3165	48,2774
		C_{Σ}	49,6019	49,7461	49,4551	49,4551	49,31089	49,31089	49,1651	49,0925	49,1651	49,0925	48,9472

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

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

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 не влияют на точность измерения в случае применения второй методики.

Экспериментальная проверка, проведенная на компьютерной модели распределительной электрической сети напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью, позволила сделать заключение о достоверности и точности измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли косвенным методом, основанным на подключении дополнительной емкости.

Таким образом, предпочтение при подключении к одной из фаз дополнительной емкости можно определить сопротивление изоляции фазы сети относительно земли, суммарную емкость сети относительно земли, а также емкостную составляющую тока однофазного замыкания на землю.

3.5 Выводы

1. Для исследования различных методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли разработана имитационная модель КРС, построенная в программном комплексе «Matlab» с применением пакета «Simulink» и библиотеки SimPowerSystems и определены с использованием теории подобия параметры элементов, образующих компьютерную модель.

2. С помощью данной модели проведено исследование метода определения параметров изоляции фаз КРС относительно земли, основанного на подключении к одной из фаз дополнительной ёмкости, и проанализировано влияние на результаты определения параметров изоляции величины и вида нагрузки, а также наличия и величины несимметрии в сети.

3. 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.

4. Проведенные исследования на компьютерной модели показали, целесообразность использования для исследований в реальных сетях методики А.И. Сидорова, поскольку при несимметрии в сети, а также изменении величины нагрузки погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8,3 %.

4 ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Создание безопасных условий эксплуатации электрооборудования и повышение надежности электроснабжения горных машин и комплексов связано с исследованием широкого круга вопросов, одним из которых является исследование параметров изоляции фаз сети относительно земли в карьерных распределительных сетях (КРС).

Важной составной задачей научных исследований являются экспериментальные исследования, которые в плане выполнения данной работы следует разделить на два направления:

– исследование параметров изоляции КРС относительно земли напряжением 6 кВ, образованной воздушными и кабельными линиями с нагрузками и их зависимости от параметров окружающей среды;

– организация системы контроля изоляции в КРС с учетом полученных данных.

4.1 Характеристика объекта исследований

ООО СП «Зеравшан» было создано в 1994 году. Предприятие принадлежит правительству Таджикистана совместно с горнопромышленной компанией «Цзыцзинь». Доля Таджикистана – 30%, Китая – 70%. Оно находится в Пенджикентском районе Согдийской области. Основной сырьевой базой являются месторождения «Джилау», «Таррор» и «Хирсхонаи северный» (рисунок 4.1). Руды добываются открытым способом. Полезные ископаемые – золото с попутным содержанием серебра [21, 165].

ООО СП «Зеравшан» является типичным представителем золоторудных предприятий с открытой разработкой месторождений полезных ископаемых, основные технологические процессы которых механизированы и электрифицированы.

Применение большого количества мощных электропотребителей, тяжелый режим их работы обуславливают жесткие требования, предъявляемые к созданию рациональных схем электроснабжения.



а)

б)

Рисунок 4.1 – Внешний вид месторождений ООО СП «Зеравшан»:

а) карьер «Таррор», б) карьер «Джилау»

Экспериментальные исследования параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились в сетях 6 кВ карьера «Таррор».

Таррорское месторождение является самой крупной перспективной сырьевой базой ООО СП «Зеравшан». Оно расположено на южном склоне Зеравшанского хребта, на площади трапеции V-42-28-Б-а. Географические координаты месторождения $39^{\circ}15'$ северной широты и $67^{\circ}47'$ восточной долготы от Гринвича. В административном отношении площадь месторождения относится к городу Пенджикент, Согдийской области Республики Таджикистан (рисунок 4.2).

Располагаясь в пределах Зеравшано-Гиссарской горной системы, площадь месторождения и прилегающих к нему районов характеризуются горными условиями рельефа. Само месторождение расположено на левом (западном) склоне реки Шинг, где преобладают пологие формы рельефа (с углами склонов $20-30^{\circ}$). Скальные участки составляют 25-30% площади месторождения.

Водная сеть района относится к бассейну реки Зеравшан. Месторождение располагается в 1,0 км к юго-востоку от места слияния рек Магиан-Дарья и ее правого притока - реки Шинг, образующими один из крупных притоков реки Зеравшан.

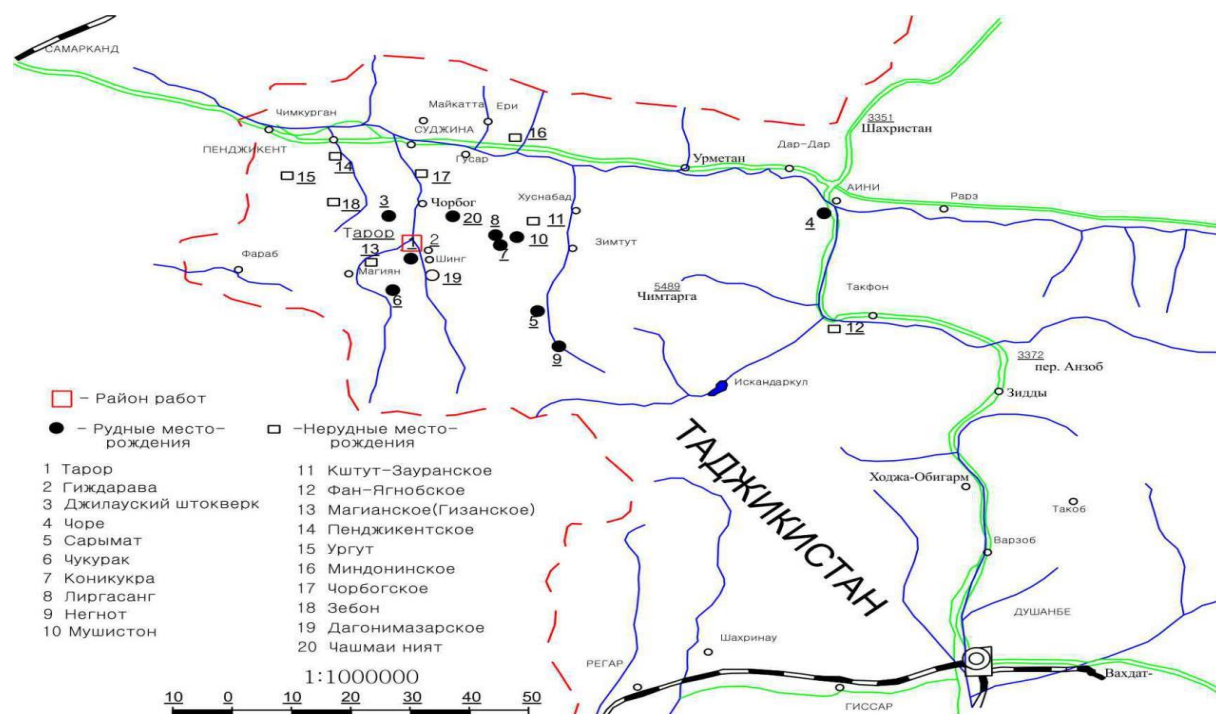


Рисунок 4.2 – Обзорная карта района работ

Климат района континентальный, типичный для низкогорных областей Средней Азии. Наибольшее количество атмосферных осадков приходится на март-апрель месяцы (до 120 мм), наименьшее - на июль-август месяцы (от 0 до 18 мм). Среднегодовая сумма осадков колеблется от 264,5 мм до 499,6 мм. В период весенних дней в боковых притоках р. Шинг иногда происходят селевые потоки, причиняющие ущерб долине.

Обилие снега в зимний период и непрерывные ливни в период март-июнь в отдельные годы приводят к развитию оползней как в районе, так и на площади месторождения. Средняя температура района в январе $+0,4^{\circ}\text{C}$, а в июне $+25^{\circ}\text{C}$. Весенние ливни иногда сопровождаются селями. Сейсмичность района 8 баллов.

По нормам технологического проектирования РТ электроприемники карьера по месту электроснабжения относятся к потребителям III категории.

Внешнее электроснабжение карьера осуществляется из ячейки 35 кВ, подстанции 110/35/10 кВ по воздушной линии электропередачи проводом АС-95/18 на металлических опорах с подключением ее к сооруженной на промплощадке карьера блочной комплектной передвижной трансформаторной подстанции Т-9-1х2500 напряжением 35/6кВ.

Внутрикарьерные ВЛ-6 кВ выполнены проводом АС-70 и А-50 на деревянных передвижных опорах с железобетонными подножниками. Подключение высоковольтных потребителей карьера (экскаваторы и буровые станки) к внутрикарьерным ВЛ 6 кВ предусмотрено через передвижные приключательные пункты типа ЯКНО-6. Передвижные комплектные подстанции, расположенные в карьере, запитываются также от внутрикарьерных ВЛ-6 кВ (рисунок 4.3).

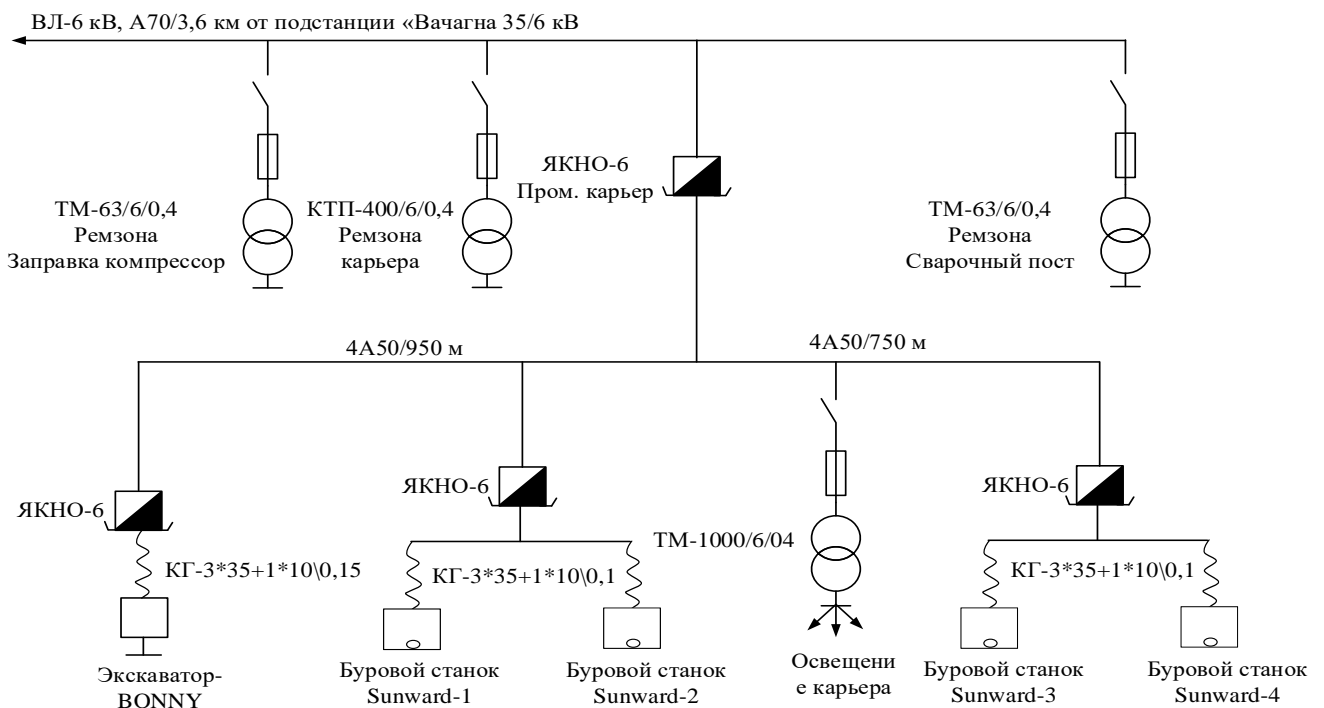


Рисунок 4.3 – Схема электроснабжения карьера «Таррор»

Основными потребителями электроэнергии напряжением 6 кВ на карьере являются четыре буровых станка тип SWDA-165С (рисунок 4.4 а), один экскаватор типа BONNY (рисунок 4.4 б) и водяные насосы. Силовая сеть выполнена кабелями КГЭ и ГРШЭП.



а)

б)

Рисунок 4.4 – Основные потребители электроэнергии напряжением 6 кВ на карьере а) буровой станок тип SWDA-165С, б) экскаватор типа BONNY

На карьере применяются передвижные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0,4/0,22 кВ с трансформаторами мощностью от 25 до 400 кВА. Для питания и защиты электрооборудования электропотребителей карьера применяются приключательные пункты типа ЯКНО-6. Кроме того, на карьере сооружаются стационарные подстанции напряжением 6/0,4/0,22 кВ для электроснабжения отдельных цехов и объектов поверхности, а также РП-6 кВ.

В забое установлены 2 передвижные подстанции, на каждой из которых размещен один сухой трансформатор 800кВА для подачи питания в передвижные средства в забое.

Освещение территории карьера и отвалов осуществляется прожекторами ИСУ 01-2000-00241, с установкой их на передвижных металлических и деревянных опорах. Освещение промплощадки осуществляется светильниками ИСП 12-200-011. Все подключения выполнены гибкими шланговыми кабелями соответствующего сечения. Основным источником питания электрической энергией карьера в настоящее время является районная подстанция.

Для защиты карьерных воздушных и кабельных линий напряжением 6 кВ применяется максимальная токовая защита мгновенного действия и с выдержкой времени, а также максимальная токовая защита нулевой последовательности от замыкания на землю. В сетях напряжением до 1000 В применяются предохранители, автоматические выключатели с электромагнитными, тепловыми и комбинированными расцепителями и электромагнитные реле максимального тока.

Вышеприведенные краткие сведения об электроснабжении карьера «Таррор» позволяют получить ясное представление, что современные карьеры – это развитые в электротехническом отношении предприятия, в условиях которых эксплуатируются самые разнообразные типы и виды машин, механизмов, агрегатов, установок, электрических сетей и электрооборудования.

4.2 Исследование параметров распределительных электрических сетей

Одной из основных причин простоя высокопроизводительных машин и механизмов и электротравматизма на горнодобывающих предприятиях является неудовлетворительное состояние изоляции электрооборудования и электрических сетей. При решении вопросов повышения безопасности и надежности системы электроснабжения необходимо уделять первостепенное внимание контролю состояния изоляции как всей электроустановки, так и ее элементов.

Надежность работы и безопасность обслуживания электроприемников напряжением 6 кВ, работающих в сетях с изолированной нейтралью, зависят от уровня сопротивления их изоляции относительно земли. Снижение уровня сопротивления изоляции в карьерной распределительной сети в целом создает предпосылки к образованию аварийных режимов (полного и неполного замыкания на землю).

Как известно, исследование состояния изоляции КРС предусматривает определение ее полного сопротивления и его составляющих (активной и емкостной). Величина полного сопротивления изоляции определяет критерий

электробезопасности и величину полного тока однофазного замыкания на землю. Знание величины активной составляющей сопротивления изоляции обеспечивает выбор рациональной величины уставки релейной защиты от однофазных замыканий на землю в распределительных электрических сетях с изолированной нейтралью.

Отсюда следует очевидный вывод для чего необходимо знать указанные выше величины. Их определение может быть осуществлено и расчетным, и экспериментальными методами. Но поскольку для расчетного метода надо знать удельные величины искомых параметров, то предпочтение следует отдать эксперименту.

На практике параметры КРС относительно земли определяют либо прямым, либо косвенным методом. Приведенные во второй главе результаты исследований показали, что из известных методов, с учетом метрологических требований и необходимости создания безопасных условий для участвующих в измерениях, наиболее подходящим будет косвенный метод, обеспечивающий получение необходимых информационных параметров за счет искусственного смещения нейтрали.

К исследованиям состояния изоляции распределительных электрических сетей напряжением выше 1000 В на горнодобывающих предприятиях предъявляются ряд требований [120], обусловленных тем, что они должны производиться в реальных условиях производства, что требует сохранения нормального режима эксплуатации электроустановок, с целью отражения реального состояния изоляции сетей и электроустановок. Результаты исследований должны быть достаточно точными, а проведение этих исследований должно быть безопасным.

Для оценки соответствия косвенного метода основным требованиям - точность, безопасность и быстрдействие определения активной, ёмкостной и полной составляющих сопротивления изоляции фаз относительно земли КРС напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью была разработана специальная методика определения параметров изоляции сети в условиях РТ, согласованная со

службой по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан (См. приложение А). Методика основана на подключении к одной из фаз дополнительной емкости.

Исследования параметров изоляции распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ горнодобывающих предприятий проводились в соответствии с методическими указаниями, разработанными во второй главе.

Измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились на понижающей подстанции «Вачагна» 35/6 кВ (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Внешний вид подстанции «Вачагна» 35/6 кВ

Согласно разработанной нами методике, все эксперименты осуществлялись в рабочие дни при полностью включенном электрооборудовании горных машин и комплексов. В настоящее время на данном карьере состояние изоляции распределительных электрических сетей напряжением 6 кВ не находится под постоянным контролем. Это создает дополнительные трудности в деле обеспечения электробезопасности при эксплуатации электротехнических комплексов и систем.

Запись данных эксперимента производилась в течение четырёх дней (с 17 по 20 апреля 2020 года) с 7 часов утра до 19 часов вечера с интервалом в 1 час. Перечень приборов и оборудования, которое использовалось для исследования, приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Приборы и оборудование, используемые в экспериментальных исследованиях

№	Наименование приборов	Модель	Погрешность измерения	Пределы измерения	шт.
1	Трансформатор напряжения	НТМИ-6 -66	$\pm 0,5 \%$	6000/100 100/3	1
2	Силовой конденсатор	КЭПО-10,5-9-2У1	-	0,2598, мкФ	3
3	Цифровой вольтамперфазометр	РЕТОМЕТР-М2	$\pm (0,005X + 3\text{мВ})$	0,06 – 750, В	1
4	Мультиметр	Testo 760-3	0,1 %	0,1 – 600, В	1
5	Термогигрометр	Testo 625	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 2.5 \%$	-10... +60, $^\circ\text{C}$ 0 ... 100, %	1
6	Термоанемометр	Testo 415	$\pm 0,05 \text{ м/с}$ $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$	0... +10, м/с 0... +50, $^\circ\text{C}$	1
7	Актинометр	ЛИОТ–Н	-	0 – 20 кал/мин. см ²	1
8	Измеритель солнечного излучения	Protek / DM-301	$\pm (0.7\% + 2 \text{ е. м.р.})$	до 2000 мВ	1

Исследуемые карьерные распределительные сети 6 кВ карьера «Таррор» на момент проведения эксперимента имели протяженность воздушных линий Л-1, Л-2, Л-3, соответственно 1,2; 2,4; 3,4; км и кабельных линий – 100-150 м. Максимальная протяженность воздушной линии, с учетом присоединений, на момент проведения экспериментальных исследований составляла 5,4 км, а кабельной – 0,55 км.

После согласования основных положений методики экспериментальных исследований с работниками отдела механики и энергетики СП «Зеравшан» была разработана программа измерений (порядок проведения процесса эксперимента). Согласно программе, измерение проводится под рабочем напряжением, это позволяет получить наиболее точную информацию о сети.

Правильно составленные программы не только предотвращают ошибки и аварии при измерениях, но и обеспечивают надлежащие условия электробезопасности и гарантируют получение достаточно точных результатов. В приложении Г.1 приведена используемая программа измерения для сетей с изолированной нейтралью. На рисунке 4.6 показано проведение испытаний по разработанной методике в реальной распределительной электрической сети напряжением 6 кВ карьера «Таррор».



Рисунок 4.6 – Испытания по разработанной методике в распределительной электрической сети напряжением 6 кВ карьера «Таррор»

Для измерения величин модулей напряжений (напряжения линейное и фазы относительно земли) использовались цифровой вольтамперфазометр типа РЕТОМЕТР-М2 (рисунок 4.7 а), а также для измерения величины напряжения несимметрии между нейтралью трехфазной сети и землей использовалось мультиметр типа Testo 760-3 (рисунок 4.7 б).



а)



б)

Рисунок 4.7 – Приборы, использованные для измерения напряжений:

а) цифровой вольтамперфазометр (РЕТОМЕТР-М2); б) мультиметр (Testo 760-3)

Искусственная несимметрия напряжений фаз сети относительно земли достигалась путем подключения дополнительной емкости КЭПО-10,5-9-2У1 (рисунок 4.8). Ниже в таблице 4.2 приведены техничекое характеристики данного конденсатора.



Рисунок 4.8 – Силовой конденсатор

Таблица 4.2 – Характеристика конденсатора типа КЭПО-10,5-9-2У1

Напряжение	Мощность	Емкость	Размеры корпуса (длина x ширина x высота)	Высота с выводами	Масса
кВ	квар	мкФ	мм		кг
10,5	9	0,2598	380 x 120 x 150	366	13

В процессе проведения экспериментальных исследований одновременно фиксировались параметры окружающей среды: температура воздуха (рисунок 4.9 г) термоанемометр типа Testo 415; солнечная радиация (рисунок 4.9 а) актинометр ЛИОТ-Н и (рисунок 4.9 б) Protek / DM-301); относительная влажность воздуха (рисунок 4.9 в) термогигрометр типа Testo 625.

Следует отметить, что количество осадков и давление воздуха были взяты у гидрометеоцентра района. Эти параметры также были записаны в течение четырёх дней с 7 часов утра до 19 часов вечера с интервалом в 1 час.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.9 – Приборы, применявшиеся для измерения параметров окружающей среды: а) актинометр (ЛИОТ-Н); б) измеритель солнечной радиации (Protek / DM-301); в) термогигрометр (Testo 625); г) термоанемометр (Testo 415)

Исследования состояния изоляции должны производиться под рабочим напряжением по принципиальной схеме, изображенной на рисунке 4.10.

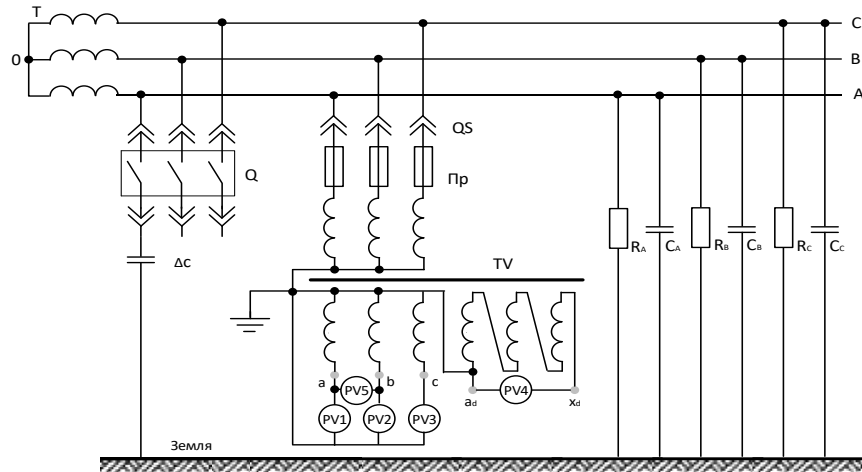


Рисунок 4.10 – Схема измерения при подключении к сети дополнительной емкости

Здесь приняты следующие обозначение: TV – трансформатор напряжения типа НТМИ-6; PV1, PV2 и PV3 – вольтметры для измерения напряжений фаз сети относительно земли ($U_{ф.01}$); PV4 – вольтметр, для измерения напряжения между нейтралью трёхфазной сети и землей ($U_{01.0}$); PV5 – вольтметр, для измерения линейного напряжения сети ($U_{л}$); Q – выключатель, коммутирующий дополнительную емкость между фазой A электрической сети и землей; ΔC – дополнительная ёмкость, которая подключалась между фазой A электрической сети и землей.

Экспериментальные измерения состояния 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 (рисунки 4.11 – 4.13), а в таблицах Д1 – Д8 приведены исходные данные для построения этих зависимостей (См. приложение Д).

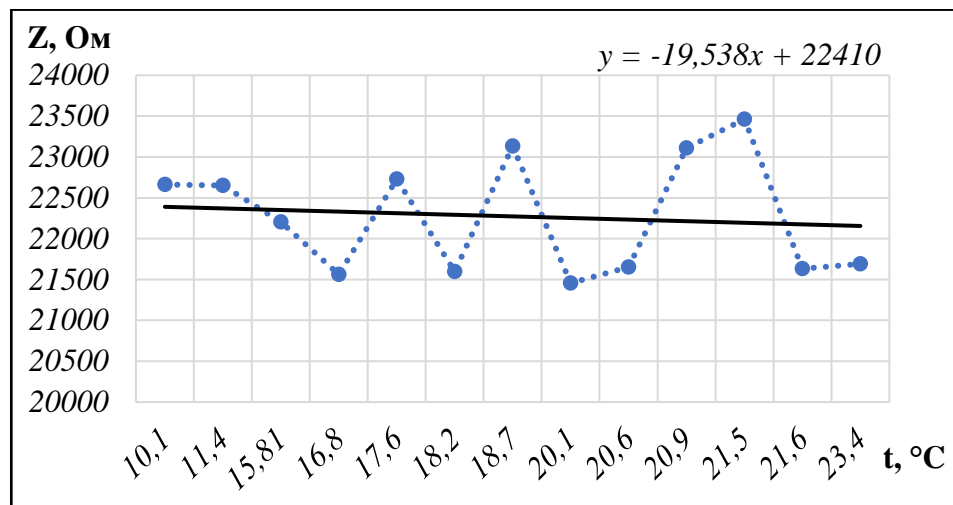
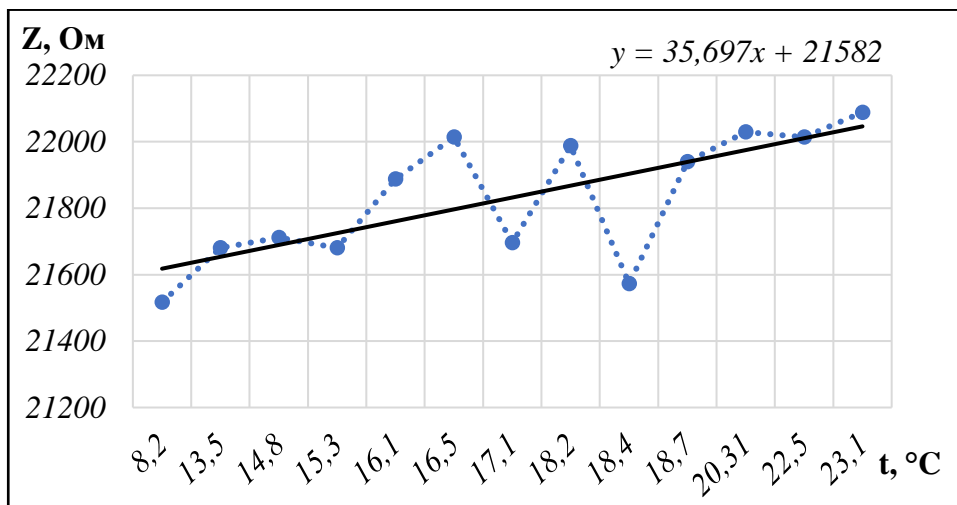
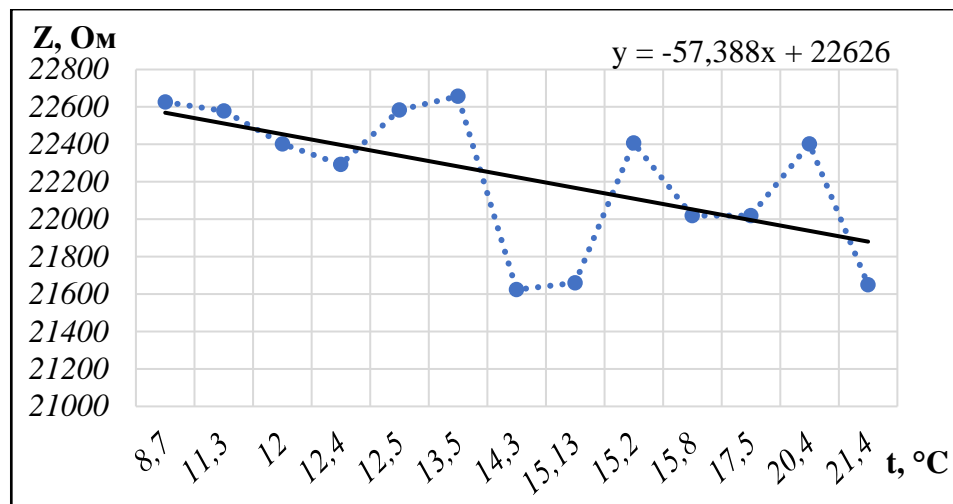
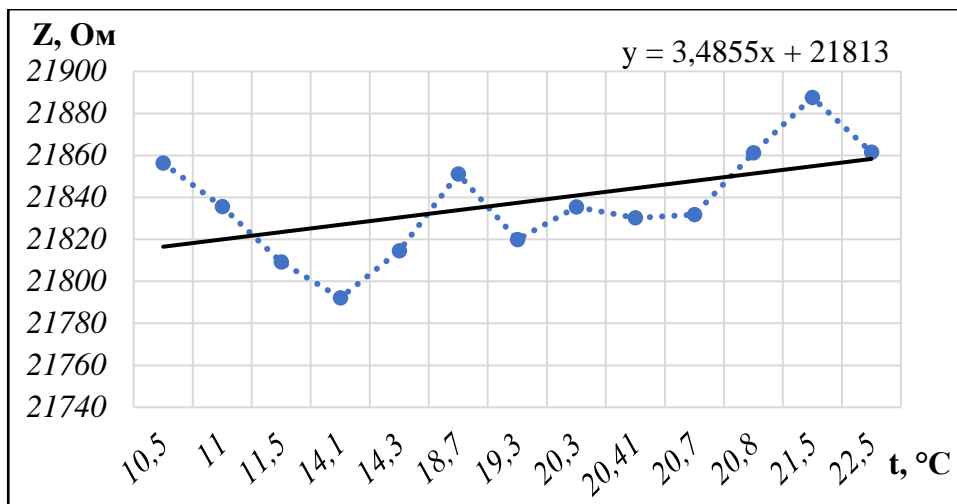
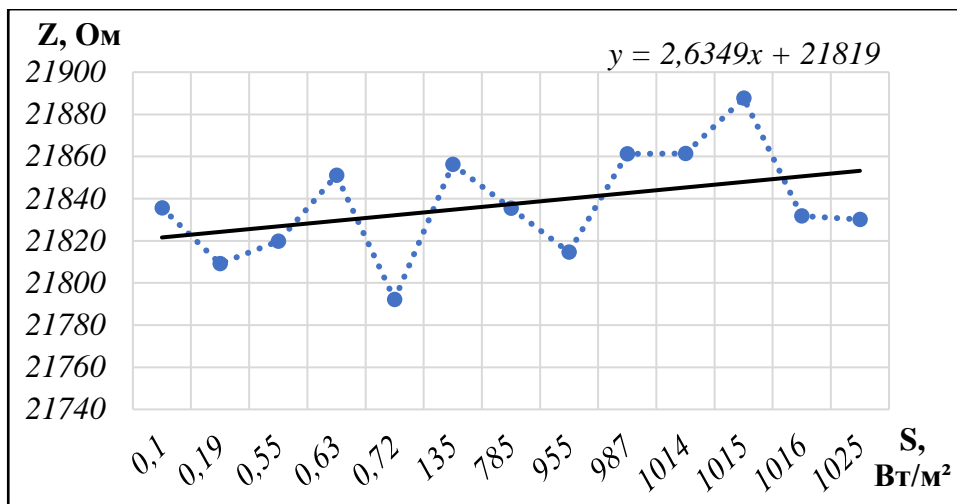
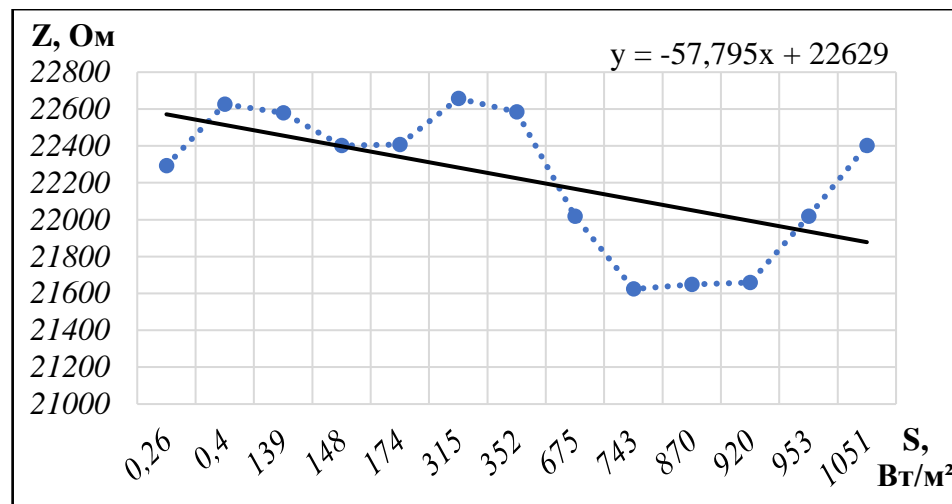


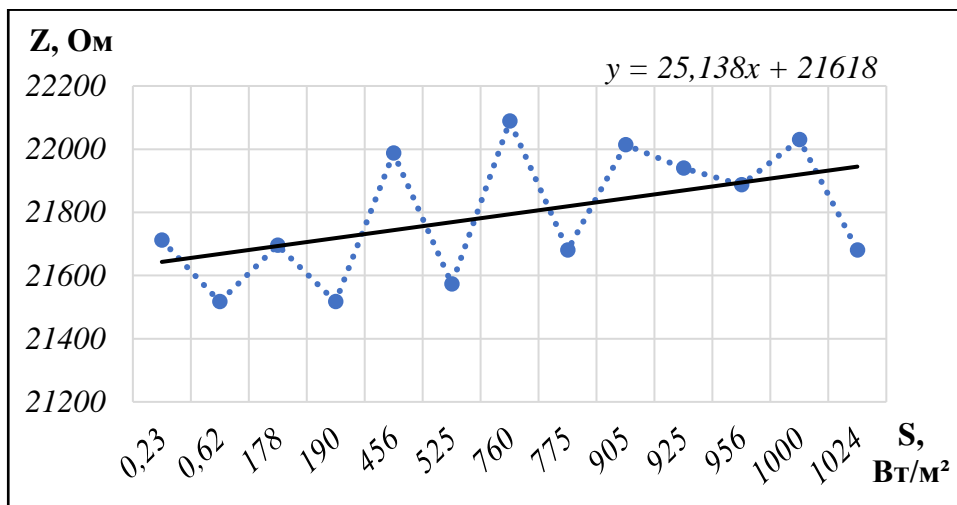
Рисунок 4.11 – Влияние температуры на сопротивление изоляции сети относительно земли



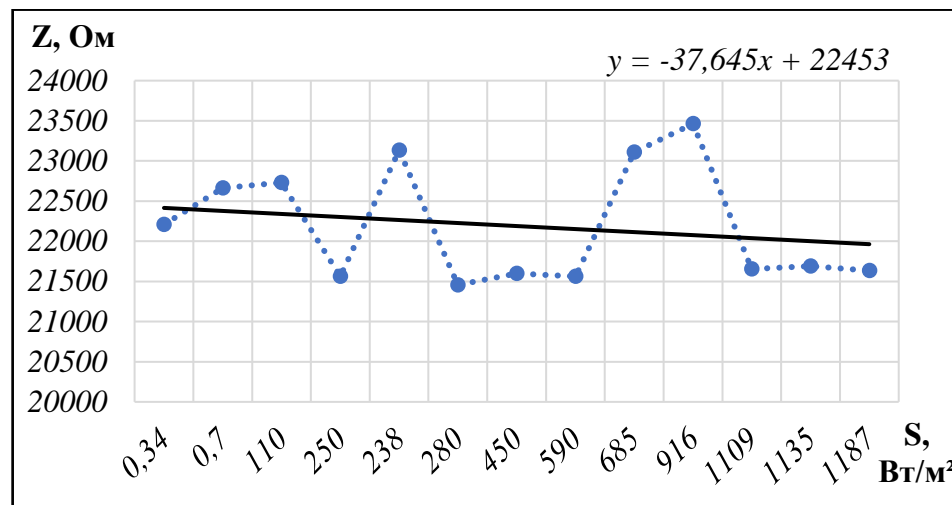
а)



б)

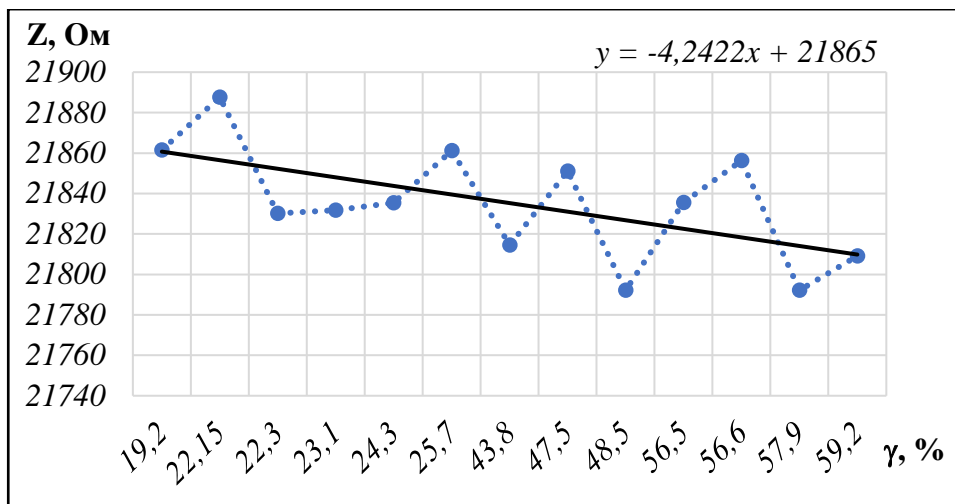


в)

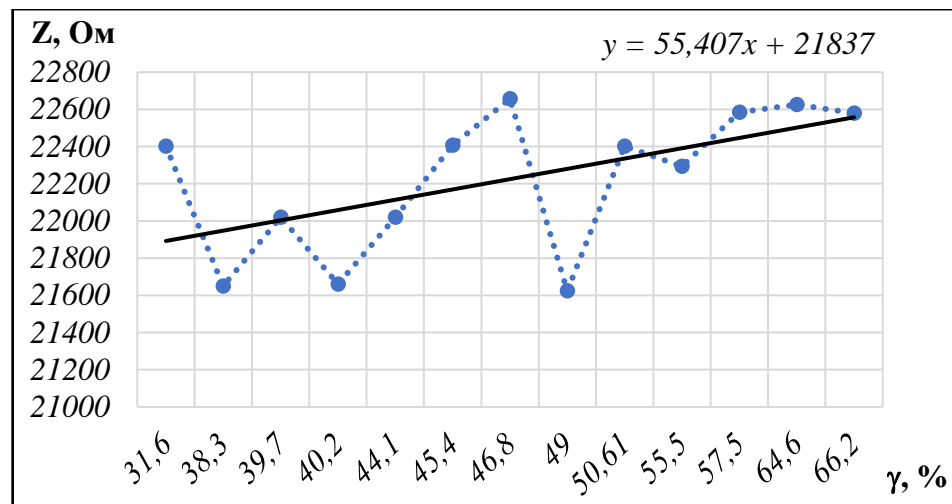


г)

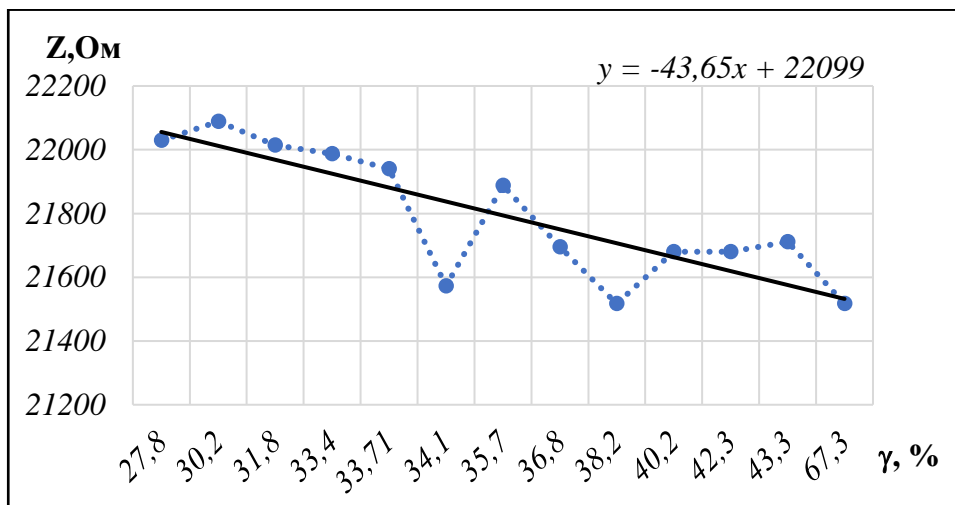
Рисунок 4.12 – Влияние солнечной радиации на сопротивление изоляции сети относительно земли



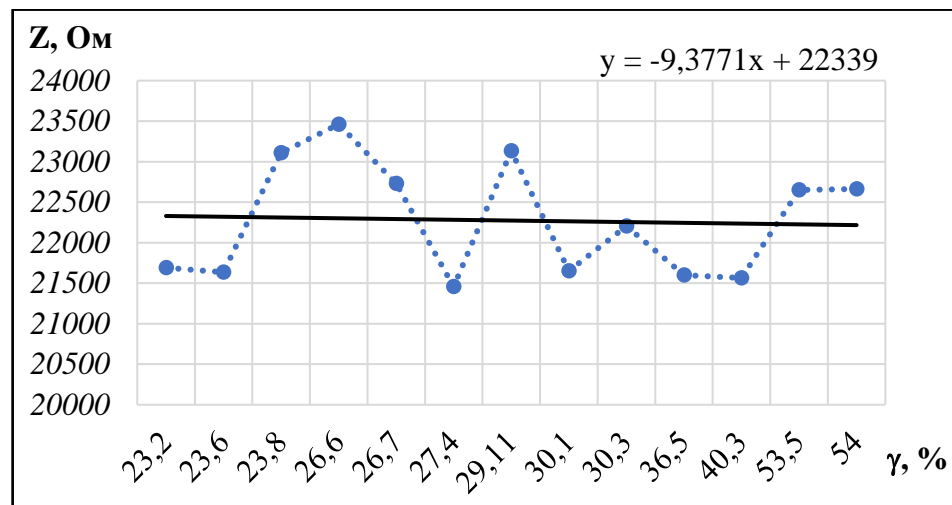
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.13 – Влияние относительной влажности на сопротивление изоляции сети относительно земли

На рисунках 4.11 – 4.13 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 рисунках 4.11 – 4.13 б и г показано изменение полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли при нормальной схеме электроснабжения, но минимальной нагрузке, обусловленной техническими 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 исследования в течение года, что позволит сделать обоснованные количественные выводы о влиянии параметров окружающей среды на сопротивление изоляции фаз карьерной распределительной сети относительно земли.

4.3 Разработка и исследование системы контроля изоляции для карьерных распределительных сетей СП «Зеравшан»

В настоящее время в карьерных распределительных сетях СП «Зеравшан» отсутствует какая-либо система непрерывного контроля изоляции. Однофазные замыкания на землю в указанных сетях вызывают срабатывание реле напряжения, включенного в обмотку, соединенную в разомкнутый треугольник, трансформаторов напряжения, установленных на питающих подстанциях. Сложившаяся ситуация не может не сказаться уровне безопасности при ведении открытых горных работ и, в частности, на возникновении электроопасных ситуаций.

Выполненный в [23] анализ показал, что наиболее перспективными системами контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли являются

те, что основаны на измерении режимных параметров в электрической сети с изолированной нейтралью.

Для карьерных распределительных сетей СП «Зеравшан» нами предлагается система контроля изоляции (СКИ), теоретические основы построения которой изложены в [120]. При этом полная проводимость фазы линии относительно земли определяется:

$$Y = \frac{U_1 - U_2 - I_2 \cdot Z}{\frac{Z}{2} \cdot \left(\frac{U_2}{2} + I_2 \cdot \frac{Z}{2} \right)} \quad (4.1)$$

где \underline{U}_1 и \underline{U}_2 – комплексы фазных напряжений соответственно в начале и в конце линии;

\underline{I}_2 – комплекс тока в фазе в конце линии;

Z – полное продольное сопротивление фазы линии.

На рисунке 4.14 приведена схема системы контроля изоляции в карьерной распределительной сети карьера «Таррор», реализующей указанный выше принцип.

На рисунке 4.14 обозначено:

- блок 1, определяющий комплексные величины необходимых для вычислений напряжений и токов в начале и конце каждой линии (рисунки 4.14 и 4,15, а, б, в);
- блок 2, в котором рассчитывается полное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли, значение которого выводится на дисплей (рисунок 4.14);
- блок SWDA–1/2 и блок SWDA–3/4 моделируют воздушные и кабельные линии с нагрузками (буровые станки), а блок BONNY моделирует воздушные и кабельные линий с нагрузками (экскаватор). На рисунке 4.15 приведено внутреннее содержание этих блоков.

Наименование и название остальных блоков подробно рассмотрено в главе 3.

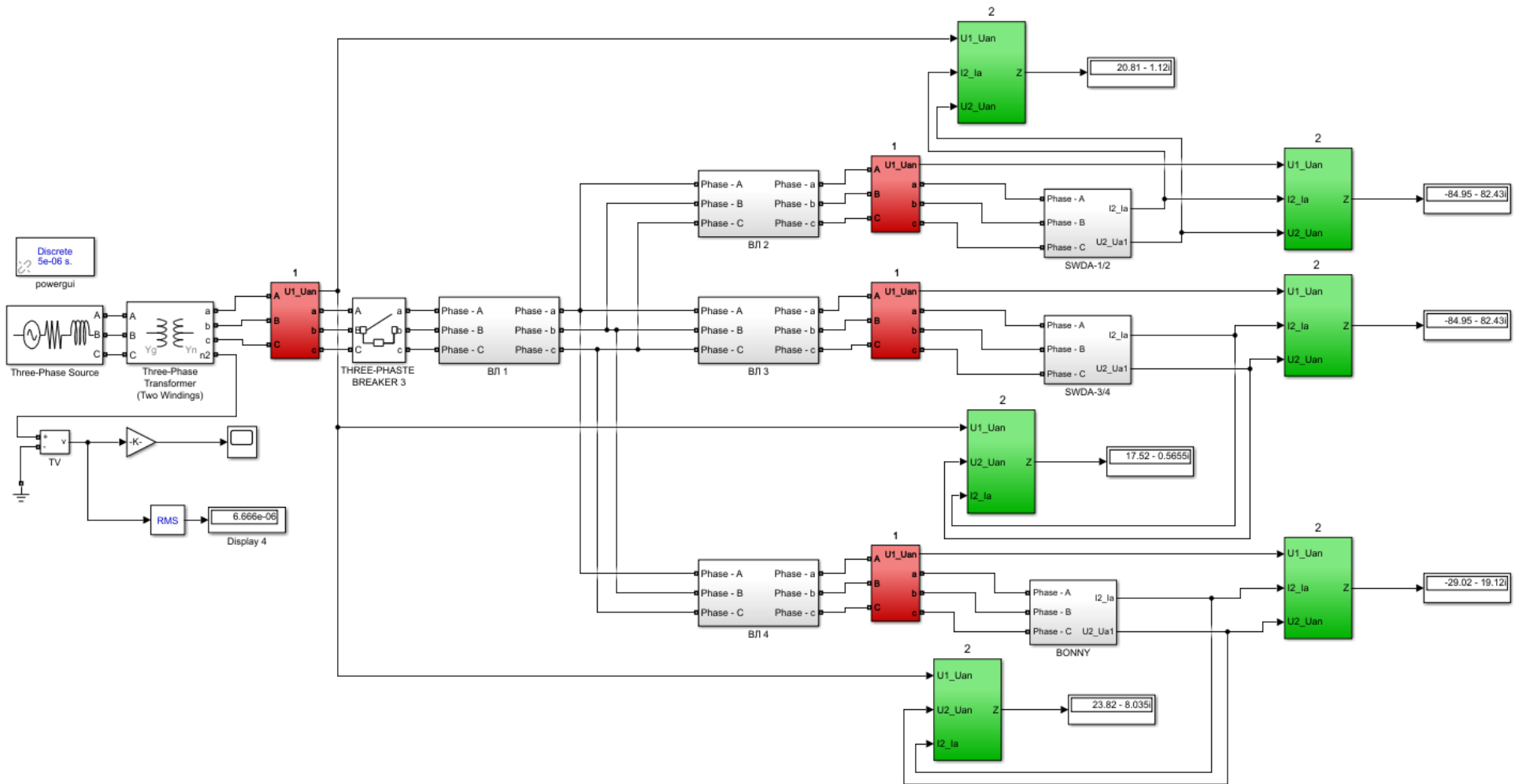
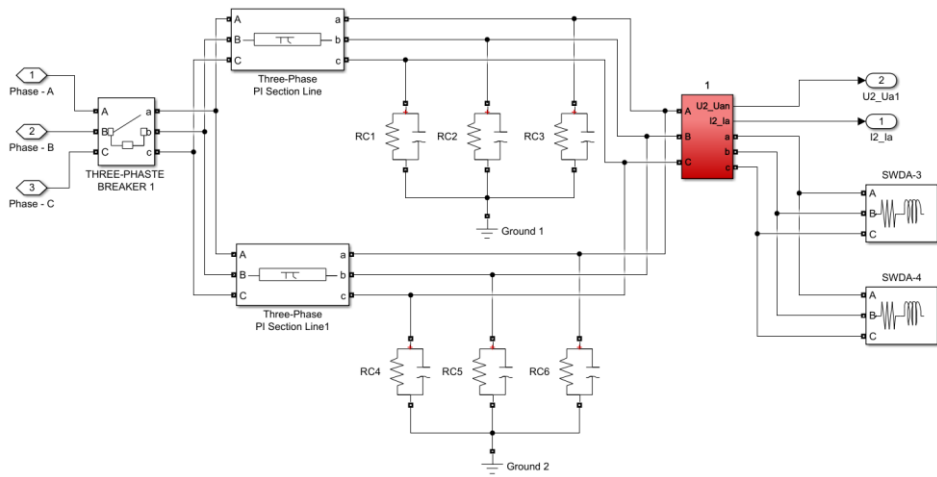
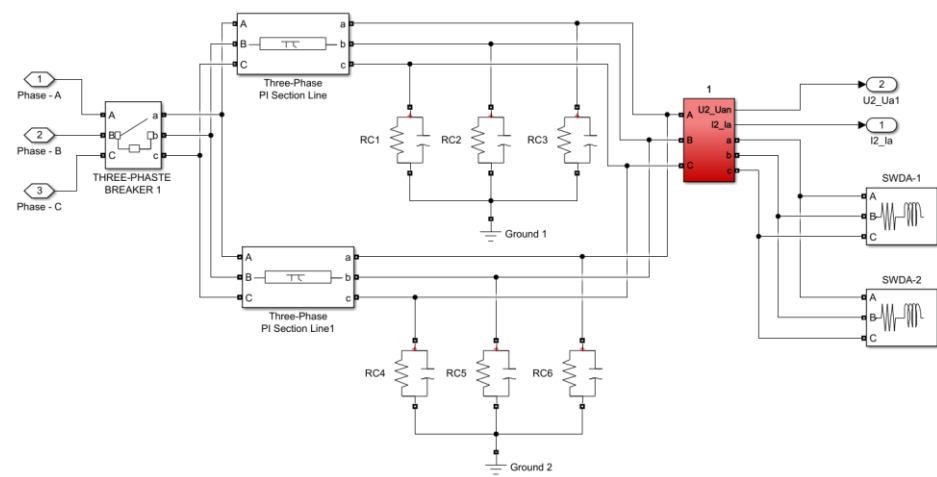


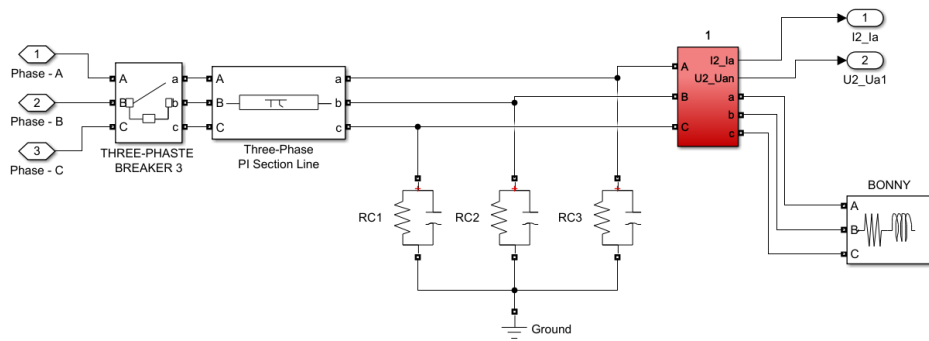
Рисунок 4.14 – Система контроля изоляции в распределительных электрических сетях карьера «Гаррор»



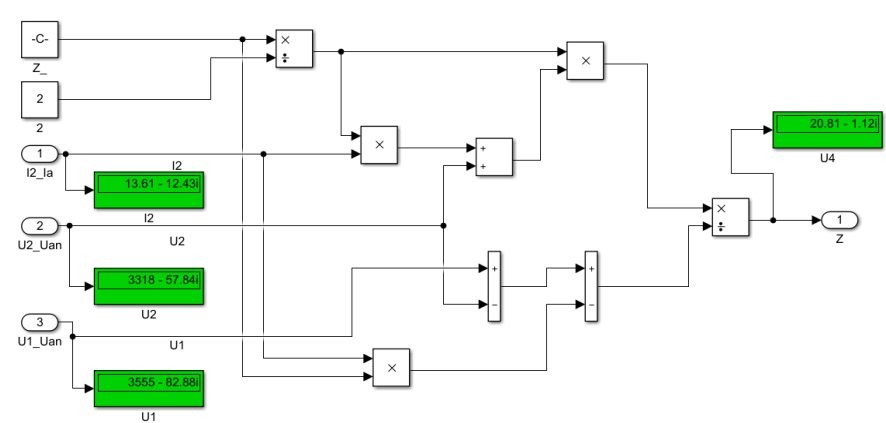
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.15 – Содержание блоков, образующих систему контроля: а) схема блока SWDA–1/2; б) схема блока SWDA–3/4; в) схема блок BONNY; г) схема блока 2

Система контроля изоляции работает следующим образом.

С измерительных трансформаторов токов и напряжений, расположенных в начале и конце контролируемого участка сети и являющихся штатными элементами этого участка сети, измеренные значения токов и напряжений подаются в автоматическое устройство сбора данных, которое обрабатывает полученные данные (рисунки 4.14 и 4.15, а, б, в, блок 1), а затем передает накопленную информацию по запросу блока 2 (рисунок 4.14). На основании рассортированных данных, производится автоматическое определение параметров изоляции сети относительно земли для каждого участка блоком 2. Текущее значение параметров изоляции выводится на дисплей (рисунок 4.14). При возникновении однофазных замыканий на землю работа системы контроля изоляции блокируется.

Человек, как элемент автоматизированной системы управления, воспринимает отображаемую информацию и принимает решение о продолжении работы участка сети либо его отключении. На основании полученной информации о состоянии изоляции участка сети диспетчер принимает решение о продолжении его эксплуатации.

Для практического исследования разработанной системы контроля изоляции фаз участка сети относительно земли и проверки ее работоспособности нами была рассмотрена модель схемы одной из линий с нагрузкой (рисунок 4.16).

Модель содержит следующие элементы:

- источник трехфазного напряжения 35 кВ (Three-Phase Source);
- трехфазный двухобмоточный трансформатор (Three-Phase Transformer (Two Windings));
- выключатель, установленный на главной понизительной подстанции (Three-Phase Breake);
- воздушная и кабельная линии, отходящие от секции шин с подключенной нагрузкой (ВЛ-1, КЛ-1, Three-Phase Series RLC Load);

- активное и емкостное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли (RC1-RC6);
- назначение блоков 1 и 2 были указаны выше.

Исследование погрешностей предложенной системы контроля изоляции параметров изоляции фаз сети относительно земли заключается в раскрытии зависимостей величин установленного полного сопротивления изоляции сети относительно земли от несимметрии в сети и различных величин и вида нагрузки.

Результаты исследований параметров изоляции фаз сети относительно земли на компьютерной модели (рисунок 4.16) приведены в таблице 4.3.

Из таблицы 4.3 следует, что с уменьшением нагрузки в сети погрешность определения полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли увеличивается.

При номинальной нагрузке в сети (от 90 % до 110%) погрешность определения полного сопротивления изоляции фаз относительно земли не превышает 20%. Следует отметить, что при минимальной нагрузке относительная погрешность может достигать 90%. Необходимо особо отметить, что наличие несимметрии в сети практически не влияет на результаты измерений.

Данные исследования на компьютерной модели участка сети показали работоспособность разработанной системы контроля изоляции фаз сети относительно земли.

Применение системы управления состоянием изоляции позволит своевременно выявлять участок сети, на котором наметилась тенденция повреждения изоляции и отключать этот участок от источника питания до возникновения аварийной ситуации, что дает возможность исключить воздействие на изоляцию всей электрически связанной сети перенапряжений, возникающих при ОЗЗ. Тем самым обеспечивается устранение указанных ранее причин снижения уровня изоляции.

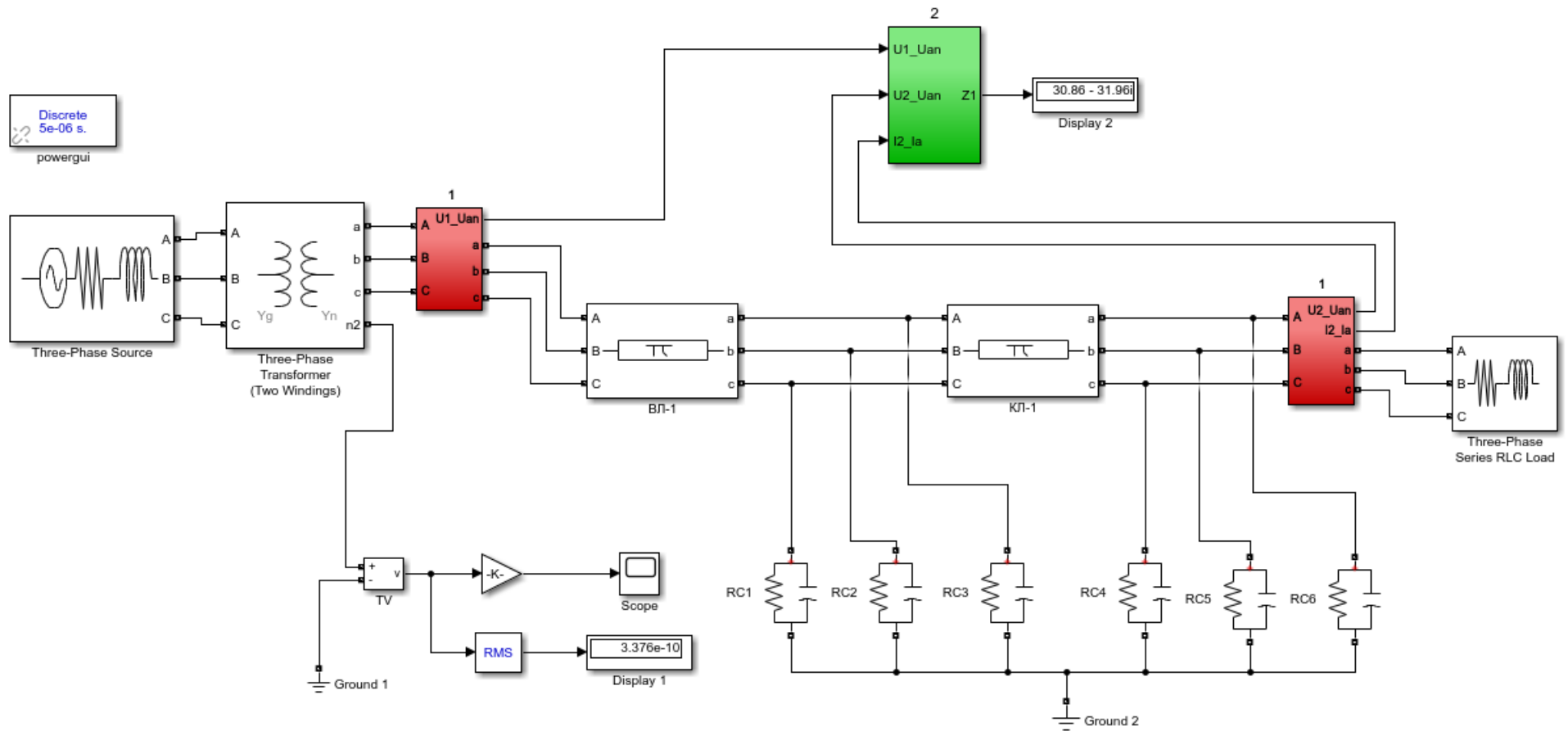


Рисунок 4.16 – Схема проверки работоспособности разработанной системы контроля изоляции

Таблица 4.3 – Результаты исследования работы системы контроля изоляции 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.

4.4 Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в карьерных распределительных сетях

Очевидно, что вероятность возникновения электроопасной ситуации будет зависеть от эффективности средств обеспечения электробезопасности, при этом необходимо учитывать, что каждое из средств обеспечения имеет свою зону ответственности и не может предотвратить электроопасную ситуацию вне этой зоны.

Как известно, возникновение электроопасной ситуации носит вероятностный характер и для его описания могут быть применены известные методы теории вероятности.

Уровень электробезопасности в КРС напряжением выше 1 кВ при отсутствии и наличии системы контроля изоляции определим с помощью логико-вероятностного метода, адаптация этого метода к КРС напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью была проведена в [76, 120, 161].

Для того, чтобы проследить формирование опасного события (возникновения электроопасной ситуации) с учетом опасных состояний электроприемников и средств защиты предлагается следующая структурная схема событий.

На рисунке 4.17 представлены логико-вероятностные модели возникновения электроопасной ситуации в карьерных распределительных электрических сетях напряжением выше 1000, при отсутствии СКИ (рисунок 4.17, а) и при наличии СКИ (рисунок 4.17, б).

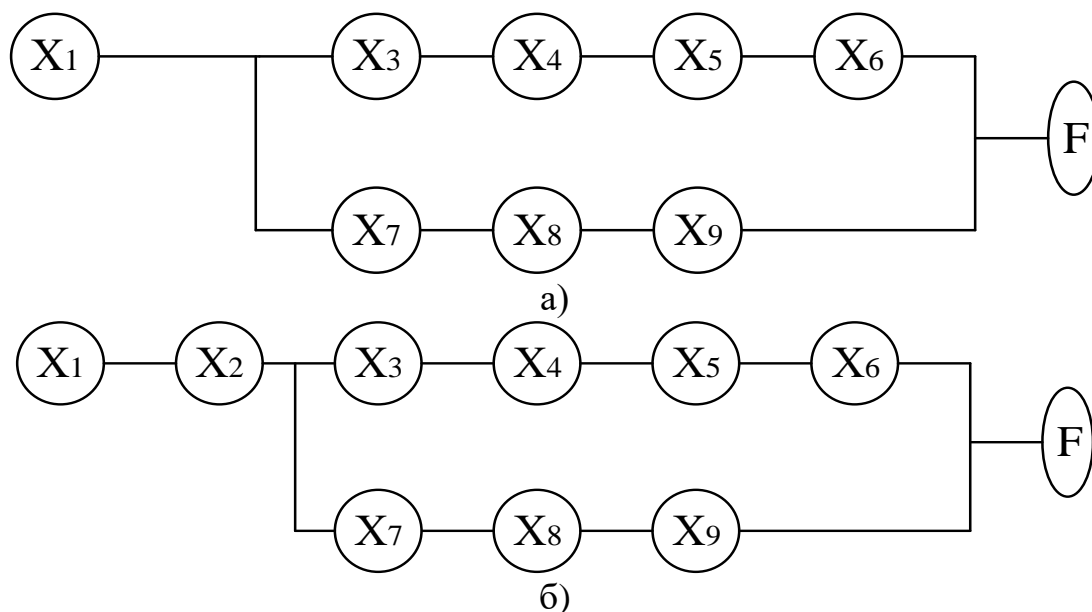


Рисунок 4.17 – Структурная схема возникновения электроопасной ситуации в карьерных распределительных сетях напряжением выше 1000 В:

а) при отсутствии СКИ; б) при наличии СКИ

В структурной схеме приняты следующие обозначения элементов событий:

- X_1 – наличие напряжения в сети;
- X_2 – отказ системы контроля изоляции;
- X_3 – возникновение однофазного замыкания на землю;
- X_4 – отказ заземляющего устройства;
- X_5 – отказ защиты от однофазного замыкания на землю;
- X_6 – прикосновение человека к открытым проводящим частям;
- X_7 – двухфазное замыкание на землю;
- X_8 – отказ максимальной токовой защиты;
- X_9 – напряжение шага, превышающее допустимое ($U_{ш} > U_{доп}$);
- F – электроопасная ситуация.

Для количественной оценки изменения вероятности электроопасной ситуации КРС напряжением выше 1000 В при наличии системы контроля изоляции необходимо найти вероятности возникновения событий от X_1 до X_9 . Учитывая, что события X_1, X_3 до X_9 приведены в обеих моделях вероятности возникновения этих событий будут одинаковыми и могут быть приняты равными единице.

Для определения общей вероятности группы событий, расположенных в схеме параллельно (логический знак «ИЛИ»), используется теорема сложения вероятностей несовместных событий, то есть возникновение любого из них не зависит от какого-либо другого события (рисунок 4.17).

С учетом законов алгебры логико-вероятностного метода возникновение электроопасной ситуации через события X_1 до X_9 запишутся следующим образом:

– при отсутствии системы контроля изоляции (Рисунок 4.17 а)

$$P(X_1, X_3 \dots X_9) = P(X_1) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9) \quad (4.2)$$

– при наличии системы контроля изоляции (Рисунок 4.17 б)

$$P(X_1 \dots X_9) = P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9) \quad (4.3)$$

Следовательно, оценка возникновения электроопасной ситуации до введения в схему системы контроля изоляции и после ее введения определяется отношением:

$$n = \frac{P(X_1) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9)}{P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9)} = \frac{1}{P(X_2)} \quad (4.4)$$

Вероятность отказа системы контроля изоляции ($\lambda t = 0.05$) была определена по результатам исследований [120] на промежуток времени 1000 часов.

Тогда вероятность события $P(X_2)$ можно рассчитать по выражению:

$$P(X_2) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.5)$$

С учетом вышеизложенного снижения вероятности возникновения электроопасной ситуации будет равно:

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,0488} = 20,5. \quad (4.6)$$

Таким образом, при наличии системы контроля сопротивления изоляции сети вероятность возникновения электроопасной ситуации уменьшится в 20,5 раз. Кроме того, это одновременно существенно снизит возможное число ОЗЗ и обеспечит определенный социально-экономический эффект.

4.5 Выводы

1. Выполнено исследование параметров изоляции фаз относительно земли в карьерной распределительной сети карьера «Тарпор» косвенным методом, основанным на подключении к одной из фаз сети дополнительной емкости.

2. Впервые проведена оценка влияния факторов окружающей среды (температуры воздуха, солнечной радиации, и относительной влажности воздуха) на параметры изоляции карьерной распределительной сети относительно земли.

3. Разработана и исследована на компьютерной модели система контроля изоляции, основанная на измерении режимных параметров карьерной распределительной сети, установлено, что погрешность в определении сопротивления изоляции сети относительно земли при номинальной нагрузке не превышает 11 %.

4. 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 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 «Электроснабжение 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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 Севмашвтуза. – 2019. – № 3. – С. 9–11.

2. Абдуллоев, Р.Т. Система оценки состояния заземляющего устройства [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. / Абдуллоев Рамазон Толибджонович. – Челябинск, 2016. – 111 с.

3. Абдурахимов, Б.А. Угольная промышленность Таджикистана: сырьевая база, состояние и перспективы развития [Текст] / Б.А. Абдурахимов, Р.В. Охунов. – Душанбе, 2011. – 248 с.

4. Айдаров, Ф.А. Особенности функционирования направленных защит нулевой последовательности при дуговых замыканиях фазы на землю сетях 6-10 кВ [Текст] / Ф.А. Айдаров, В.Н. Савицкий // Промышленная энергетика, 1982. №12, С. 27 – 30.

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

6. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебное пособие [Текст] / В.А. Андреев – М.: Высшая школа, 1991. – 496 с.

7. Афанасьева, Е.И. Критерии выбора величины тока уставки защитного отключения [Текст] / Е.И. Афанасьева, А.Н. Стрёмовский // Электротехническая промышленность. Серия: Бытовая электротехника, 1984. – № 2. – С. 3 – 5.

8. Бариев, Н.В. Методика расчета сопротивления карьерного заземления [Текст] / Н.В. Бариев. – Горный журнал. – 1969. – № 3. С. 64 – 67.

9. Бариев, Н.В. Обслуживание заземляющих устройств на горнорудных и угольных предприятиях [Текст] / Н.В. Бариев. – М.: Недра, 1977. – 94 с.

10. Бацежев, Ю.Г. Электропривод и электроснабжение [Текст] / Ю.Г. Бацежев, В.С. Костюк. Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1989. – 292 с.
11. Безопасность жизнедеятельности: Конспект лекций [Текст] / А.И. Сидоров, В.Ф. Бухтояров, Л. И. Леухина и др.; под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: ЧГТУ, 1997. – 240 с.
12. Белых, Б.П. Электрическая защита от замыканий на землю в сетях карьеров [Текст] / Б.П. Белых, И.С. Свердель, Ф.М. М.: Недра, 1967. – 119 с.
13. Белых, Б.П. Распределительные электрические сети рудных карьеров [Текст] / Б.П. Белых, Б.И. Заславец. – М.: Недра, 1987. – 239 с.
14. Бендюк, Н.А. Принципы управления состоянием изоляции в электротехнических комплексах [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров, К.В. Лапченков // Безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 7 – 10.
15. Бендюк, Н.А. Контроль изоляции в сетях с изолированной нейтралью [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров, А.А. Сельницин // Проблемы электробезопасности в народном хозяйстве: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1991. – С. 18.
16. Бендюк, Н. А. Анализ повреждений изоляции в распределительных электрических сетях [Текст] / Н.А. Бендюк, Е.Б. Петрашева, М.Н. Хомутова, К.В. Лапченков // Безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 10 – 16.
17. Бендюк, Н.А. Управление уровнем изоляции электрических распределительных сетей [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров, А.А. Сельницин // Проблемы энергетики Казахстана: межд. научн. конф. – Павлодар, 1994. – С. 31.
18. Бендюк, Н.А. Определение параметров изоляции с изолированной нейтралью [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров, А.И. Свигврис // Проблемы электробезопасности в народном хозяйстве: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1991. – С. 18 – 19.
19. Бендюк, Н.А. Анализ параметров устройства контроля изоляции трехфазной сети с изолированной нейтралью [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров

// Охрана труда в цветной металлургии: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1990. – С. 23 – 25.

20. Бендюк, Н.А. Автоматизированный контроль изоляции в электрических сетях напряжением 6 – 35 кВ [Текст] / Н.А. Бендюк, А.И. Сидоров // Проблемы электробезопасности в народном хозяйстве: материалы семинара. – Москва, 1990. – С. 95 – 97.

21. **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.

22. **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. Тимирязова - 2018: материалы международной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 25-летию образования университета, Казань, 21 декабря 2018 года. – Казань: Издательство "Познание", 2019. – С.174-175.

23. **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: ИРННТУ, 2019. – С. 234-239.

24. **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.

25. **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.

26. **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.

27. **Бобоев, Х.Д.** Характеристика сопротивления изоляции в электрических сетях Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: Сб. матер. 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.

28. **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.

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

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

31. Бургсдорф, В. В. Заземляющие устройства электроустановок [Текст] / В.В. Бургсдорф, А.И. Якобс. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

32. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров [Текст] / В.Ф. Бухтояров, А.М. Маврицын. – М.: Недра, 1986. – 184 с.

33. Бухтояров, В.Ф. Обоснование требования и выбор принципа построения защиты от замыканий на землю [Текст] / В.Ф. Бухтояров, В.И. Поляков. – Изв. Вузов. Энергетика, 1985. №7, С. 34 – 37.

34. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю [Текст] / В.Ф. Бухтояров // Безопасность труда в промышленности, 1983. – №4, С. 55 – 56.

35. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю в электроустановках 6-35 кВ [Текст] / В.Ф. Бухтояров, В.И. Щуцкий. – Екатеринбург, 1999. – 430 с.

36. Васин, А.А. Исследование и разработка защиты от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях карьеров напряжением выше 1000 В [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Васин Александр Александрович. – Москва, 1984. – 153 с.

37. Валеев, Р.Г. Повышение уровня электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1000 В при однофазных коротких замыканиях [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. / Валеев Рустам Галимянович. – Челябинск, 2014. – 220 с.

38. Водяницкий, Ю.Г. Характеристики и рекомендации по применению устройств защитного отключения ЗОУП-25 [Текст] / Ю.Г. Водяницкий // Техника в сельском хозяйстве, 1979. – № 4. – С. 34 – 37.

39. Второй национальный отчет о реализации инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Таджикистан за 2015-2016 гг [Текст]. – Душанбе: 2017. – 197 с.

30. ГОСТ 12.1.019-79 Электробезопасность. Общие требования [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.

41. ГОСТ 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [Текст]. – Введ. 2011-01-01 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2011. – 28 с.

42. ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 18 с.

43. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

44. Гельфанд, Я.С. релейная защита распределительных сетей [Текст] / Я.С. Гельфанд. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

45. Гимоян, Г.Г. Релейная защита горных электроустановок. [Текст] / Г.Г. Гимоян – М.: «Недра», 1978. – 349 с.

46. Гладилин, Л.В. О рациональном выполнении заземляющих устройств на открытых горных разработках [Текст] / Л.В. Гладилин, А.И. Панкратов. // Повышение надёжности и электробезопасности систем электроснабжения горнорудных предприятий: Тез. докл. – Качканар, 1979. – С. 42 – 43.

47. Гладилин, Л.В. Сопротивление изоляции щитов и механизированных комплексов [Текст] / Л.В. Гладилин, А.М. Мадусмонов // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 250 – 252.

48. Гладилин, Л.В. Защитное действие заземления в условиях горных предприятий с открытой и подземной разработкой месторождения полезных ископаемых [Текст] / Л.В. Гладилин, М.Б. Иноятов, В.И. Щуцкий // Электробезопасность на предприятиях черной металлургии. Днепропетровск, 1972. – С. 108 – 109.

49. Гладилин, Л.В. Основы электроснабжения горных предприятий [Текст] / Л.В. Гладилин. – М.: Недра, 1980. – 327с.

50. Горбачаев, Г.Ф. Прогнозирование величины тока однофазного замыкания на землю и параметров изоляции карьерных сетей 6 кВ [Текст] / Г.Ф. Горбачаев, М.Б. Иноятов, Я.М. Гривнев // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 108 – 110.

51. Гуцин, Н.Я. Исследования состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью на горнодобывающих предприятиях цветной металлургии [Текст]. Автореф. Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Гуцин Николай Яковлевич. – М.: МГИ. 1974. – 16 с.

52. Додхудоев, М.Д. О нормировании сопротивления изоляции электроустановок повышенных частот тока [Текст] / М.Д. Додхудоев // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 277 – 281.

53. Дударев, Л. Е., Методика экспериментальных исследований переходных процессов при замыкании фазы на землю [Текст] / Л.Е. Дударов // Промышленная энергетика, 1978. № 7. С. 31 – 34.

54. Дьяконов, В.П. MATLAB R2006/2007/2008+Simulink 5/6/7. Основы применения. – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН Пресс, 2008. – 800 с.

55. Дьяконов, В.П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике [Текст] / В.П. Дьяконов, А.А. Пеньков. Справ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 816 с.

56. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Серия «Библиотека профессионала» [Текст] / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

57. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом [Текст]. 2-е изд., перераб. и доп. / Госгортехнадзор СССР. – М.: Недра, 1987. – 96 с.

58. Иброхим, А. Минерально-сырьевые база Таджикистана: состояние, перспективы освоения и развития [Текст] / А. Иброхим, М. Джанобилов // Горный журнал, 2007. № 10. – С. 52 – 55.

59. Изоляция установок высокого напряжения [Текст] / Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С. Пингаль; Под. ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

60. Иноятов, М.Б. Оптимизация режимов работы нейтрали в сетях 6 – 10 кВ [Текст] / М.Б. Иноятов, Я.Х. Гургов // Электробезопасность на горнорудных предприятиях черной металлургии СССР: тез. докл. научн-техн. конф. – Днепропетровск, 1975. – С. 79 – 81.

61. Иноятов, М.Б. Исследование защитного действия заземлений в условиях горных предприятий с открытой и подземной разработкой месторождений

полезных ископаемых с высокими удельными сопротивлениями горных пород [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Инояттов Мелис Бурханович. – Москва, МГУ, 1972. – 141 с.

62. Инояттов, М.Б. Прогнозирование величины тока однофазного замыкания на землю и параметров изоляции карьерных сетей 6 кВ [Текст] / М.Б. Инояттов, Г.Ф. Горбачаев // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 107 – 108.

63. Инояттов, М.Б. Распределение тока однофазного замыкания на землю при обрыве сети заземления [Текст] / М.Б. Инояттов, А.М. Мадусмонов // Перспективные технические средства обеспечения электробезопасности в промышленности. Ленинград, 1989. – С. 89 – 90.

64. 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.

65. Контроль изоляции в распределительных сетях [Текст]: тез докл. научно-практич. конференции. – Челябинск: ЧГТУ, 1992. – 34 с.

66. Караев, Р. И. Электрические сети и энергосистемы [Текст] / Р.И. Караев, С.Д. Волобринский. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 312 с.

67. Косоротова, Ю.В. Параметры изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях 6, 10 кВ и организация их контроля [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Косоротова Юлия Викторовна. – Челябинск, 2005. – 172 с.

68. Косоротова, Ю. В. Разработка системы непрерывного контроля изоляции в распределительных электрических сетях 6 – 35 кВ [Текст] / Ю.В. Косоротова // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области: Сборник рефератов научно-исследовательских работ студентов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 67 – 68.

69. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов [Текст] / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 568 с.

70. Костров, М.Ф. Основы техники релейной защиты: учебное пособие [Текст] / М.Ф. Костров, И.И. Соловьев, А.М. Федосеев; под общ. ред. А.М. Федосеева. – Москва: Ленинград: Госэнергоиздат, 1944. – 436 с.

71. Костюченко, Л.П. Имитационное моделирование систем электроснабжения в программе MATLAB: учеб. пособие [Текст] / Л.П. Костюченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 215 с.

72. Кутепов, А.Г. Анализ Электротравматизма на предприятиях горной отрасли [Текст] / А.Г. Кутепов А.В. Ляхомский // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2018. №S7. – С. 3 – 9.

73. Круг, К.А. Основы электротехники [Текст] / К.А. Круг. – М.–Л.: ОНТИ, 1936. – 887 с

74. Лапченков, К.В. Управление состоянием изоляции в распределительных электрических сетях [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Лапченков Константин Владимирович. – Челябинск, 1998. – 18 с.

75. Лапченков, К.В. Определение параметров изоляции относительно земли с изолированной нейтралью косвенным методом [Текст] / К.В. Лапченков, А.В. Дубовой, А.И. Сидоров. // Технологии, методы, средства: Тез. докл. региональной научно-технической конференции. – Норильск: НИндИ, 1996. – С.42.

76. Леухина, Л.И. Разработка методов и средств повышения уровня электробезопасности в карьерных сетях напряжением выше 1000 В [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. / Леухина Людмила Ивановна. – М, 1989. – 158 с.

77. Лихачев, Ф.А. Аварии при измерениях емкостных токов в сетях [Текст] / Ф.А. Лихачев // Электрические станции, 1961. – № 3. – С. 60 – 66.

78. Лурье, М.С. Имитационное моделирование схем техники: учебное пособие [Текст] / М.С. Лурье, О.М. Лурье, Ю.С. Баранов. – Красноярск: СибГТУ, 2011. – 154 с.

79. Луковников, А.В. Вероятностный подход к решению вопросов электробезопасности в сельских электроустановках и некоторые задачи исследований [Текст] / А.В. Луковников, С.И. Коструба, А.И. Якобс // Докл. МИИСП. - М., 1971. – Т. 7, вып. 3. – С. 56-65.

80. Маврицын, А.М. Электроснабжение угольных разрезов [Текст] / А.М. Маврицын, О.А. Петров. – М.: Недра, 1977. – 184 с.

81. Мадусмонов, А.М. Комплексное исследование защитного действия заземления [Текст] / А.М. Мадусмонов, М.Б. Иноятов // Перспективные технические средства обеспечения электробезопасности в промышленности. Ленинград, 1989. – С. 33 – 34.

82. Манойлов, В. Е. Проблемы электробезопасности [Текст] / В. Е. Манойлов. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 294 с.

83. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности [Текст] / В.Е. Манойлов. – Л.: Энергия, 1985. – 344 с.

84. Метод определения параметров изоляции в карьерных распределительных сетях горных предприятий [Текст] / Ю.Г. Бацезев, В.Т. Гришин, М.И. Дубовник, Б.Б. Утегулов // Охрана труда в цветной металлургии: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1990. – С. 18.

85. Мусс К.Б. Устройства профилактического направленного контроля за изоляцией в распределительных сетях 6 кВ с изолированной нейтралью [Текст] / К.Б. Мусс, С.П. Шулецкая // Промышленная Энергетика. – 1982. – № 1. – С. 35-38.

86. Найфельд, М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности [Текст] / М.Р. Найфельд. – М.: Энергия, 1971. – 115 с.

87. Никольский, О.К. Основы создания оптимальных систем обеспечения электробезопасности людей при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения 380В [Текст]: автореферат дис. ... док. техн. наук: 05.20.02. / Никольский Олег Константинович. - М.: ВИЭСХ, 1979. – 45 с.

88. Нудельман, Г.С. Особенности выполнения и методы обеспечения помехоустойчивости реле РТЗ-51 в условиях эксплуатации [Текст] / Г.С. Нудельман, В.Г. Поляков // Электрические станции, 1990. №3. – С. 74-76.

89. Нурмахмадов, Д.Н. Гидроэнергетика Таджикистана современное состояние и перспективы развитие Министерство энергетики Республики Таджикистан [Текст]. Д.Н. Нурмахмадов. Душанбе, 2009. – 112 с.

90. Обеспечение электробезопасности в системах электроснабжения [Текст] / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, А.В. Пичуев, И.Ф. Суворов. – Чита: ЧитГУ, 2009. - 268 с.

91. Оверин, Б.А. Электробезопасность на предприятиях цветной металлургии [Текст] / Б.А. Оверин. – М.: Металлургия, 1992. – 240 с.

92. Охрана труда в Республике Таджикистан [Текст]. – Национальный обзор. – МОТ, 2008. – 52 с.

93. Петуров, В. И. Исследование и разработка способов и средств контроля параметров изоляции рудничных электрических сетей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Петуров Валерий Иванович. – Москва, 1992. – 120 с.

94. Петуров, Г.М. Контроль параметров изоляции электрических сетей промышленных предприятий с тяжелыми условиями эксплуатации [Текст] / Г.М. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал), 2004. – №4. – С. 270 – 271.

95. Петров, О.А. Методика измерения емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях напряжением 6...10 кВ [Текст] / О.А. Петров, А.И. Сидоров, А.А. Сельницин – Челябинск, 1990. — 24 с.

96. Первый национальный отчет о реализации инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Таджикистан за 2014 г. [Текст] – Душанбе: 2015. – 132 с.

97. Пивняк, Г.Г. Релейная защита электроустановок на открытых горных работах: Справочное пособие [Текст] / Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец, Я.С. Горбунов. – М.: Недра, 1992. – 240 с.

98. Пичуев, А.В. Параметры изоляции электрической сети с учетом активного и емкостного сопротивлений току абсорбции [Текст] / А.В. Пичуев // Электробезопасность, 2011. - №4. - С. 22-28.

99. Попов, И.Н. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов [Текст] / И.Н. Попов, В.Ф. Лачугин, Г.В. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.

100. Потемкина, В.Г. MATLAB 6: Среда проектирования инженерных приложений [Текст] / В.Г. Потемкина. М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 448 с.

101. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации потребителей [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 392 с.

102. Правила устройства электроустановок [Текст] / Главгосэнергонадзор России. – 6 -е изд., перераб. доп. – М.; ЗАО «Энергосервис», 1998. – 608 с.

103. Рахимов, О. С. Вопросы обеспечения электробезопасности и надежности электроустановок в условиях жаркого сухого климата и высокогорья [Текст] / О.С. Рахимов // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 24 – 25.

104. Ревякин, А. И. Обоснование предельных уставок унифицированного ряда устройств защитного отключения для сетей с заземлённой нейтралью [Текст] / А.И. Ревякин // Труды Московского энергетического института. Изд-во МЭИ – М., 1977. – Вып. 342. – С. 87 – 94.

105. Самойлович, И.С. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров [Текст] / И.С. Самойлович. М.: Недра, 1976. – 175 с.

106. Самохин, Ф.И. Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ [Текст] / Ф.И. Самохин, А.М. Маврицын. – М.: Недра, 1979. – 399с.

107. Сапунков, М.Л. Способ контроля сопротивления изоляции в рудничных электрических сетях 6 – 10 кВ под рабочим напряжением [Текст] / М.Л. Сапунков // Горное оборудование и электромеханика, 2014. № 12, – С. 3 – 7.

108. Сельницын, А.А. Классификация способов непрерывного контроля сопротивления изоляции в трехфазных электрических сетях с изолированной нейтралью [Текст] / А.А. Сельницын // Безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1992. – С. 16 – 24.

109. Серов, В.И. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий [Текст] / В.И. Серов, В.И. Щуцкий, Б.М. Ягудаев. – М.: Наука, 1985. – 136 с.

110. 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.

111. 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.

112. 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.

113. 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

114. 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.

115. 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.

116. 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.

117. Сидоров, А.И. Основы электробезопасности [Текст] / А.И. Сидоров. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – 343 с.

118. Сидоров, А.И. Погрешность косвенного способа измерения емкостных проводимостей относительно земли в электрических сетях напряжением 6...10 кВ [Текст] / А.И. Сидоров, О.А. Петров, И.М. Ушаков // Электричество, 1990. – №10. – С.33 – 36.

119. Сидоров, А.И. Определение сопротивления изоляции по отношению к земле сетей с изолированной нейтралью 6 – 35 кВ по режимным параметрам [Текст] / А.И. Сидоров, Н.А. Хусаинова, А.Л. Шестаков // Изд. Челябинский научный центр УрОРАН, 2000. – №1. – С. 91 – 100.

120. Сидоров, А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах [Текст]: Дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1993. – 444 с.

121. Сидоров, А.И. Непрерывный контроль изоляции в распределительных электрических сетях [Текст] / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, Ю.В. Косоротова // Наука – Производство – Технологии – Экология: Сб. материалов всероссийской научно-технической конференции. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2002. – Т.2. – С. 32.

122. Сидоров, А.И. Определение параметров сетей с изолированной нейтралью относительно земли [Текст] / А.И. Сидоров, Н.А. Бендык, С.Н. Степанов // Контроль изоляции в распределительных сетях: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1992. – С. 12.

123. Сидоров, А.И. Повышение надежности сельских электрических сетей с помощью устройства компенсации токов однофазного замыкания на землю [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Сидоров Александр Иванович – Челябинск, 1984. – 148 с.

124. Соболев, В.Г. Электрическая изоляции рудничного электрооборудования [Текст] / В.Г. Соболев. М., Недра, 1982. 143 с.

125. Состояние угольного сектора Республики Таджикистан [Текст]. Душанбе, 2016. – 23 с.

126. Сошников, А.А. Электропожарозащита [Текст] / А.А. Сошников, Т.В. Еремина // Сельский механизатор, 1988. – № 10. – С. 21 – 23.

127. Справочник по наладке вторичных цепей электростанции и подстанции [Текст] / А.А. Антоюшин, А.Е. Гомберг, В.П. Караев и др. под ред. Э.С. Мусаэляна. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 367 с.

128. Справочник энергетика карьера [Текст] / В.А. Голубев, П.П. Мирошкин, Н.М. Шадрин и др. Под ред. В. А. Голубева – М.: Недра, 1986. – 429 с.

129. Справочник энергетика карьера [Текст] / И.С. Свердель, И.С. Саймолович, Г.Н. Носов и др. Изд. – М.: Недра, 1973. – 496 с.

130. Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений [Текст] / Л.И. Сиротинский // Волновые процессы и внутренние перенапряжения в электрических системах. Госэнергоиздат, 1959. ЧЗ. – Вып.1. – 368 с.

131. Табаров, Н.Х. Состояние электрических сетей Республики Таджикистан [Текст] / Н.Х. Табаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», 2019. – Т. 19, № 2. – С. 62 – 68.

132. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических сетях [Текст] / В.В. Базуткин, Е.В. Ларионов, Ю.С. Пинталь, и др. 3-е изд. Перебот и доп. – М.: Электроатомиздат, 1985. – 248 с.

133. Третий национальный отчет о реализации инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Таджикистан за 2017-2018 гг [Текст]. – Душанбе: 2019. – 116 с.

134. Уахитова, А.Б. Методика контроля состояния изоляции в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением 6 – 10 кВ [Текст] / А.Б. Уахитова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2012. – № 9. – 10. – С. 102 – 106.

135. Усманов, Х.М. Разработка и исследование методов комплексного определения параметров изоляции карьерных электроустановок напряжением выше 1000 В [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 / Усманов Хамид Махмудович. – Москва, 1968. – 18 с.

136. Устройство направленной волновой защиты от замыканий на землю воздушных и кабельных линий 6-35 кВ типа УЗС-01. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст]. - Казань: Энергосоюз, 1998. – 48 с.

137. Утегулов, Б.Б. Методика определения параметров изоляции в сетях напряжением 6 – 10 кВ [Текст] / Б.Б. Утегулов // 5-я между. науч-практ. конф. «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии». – Изд. УМЦ УПИ (Екатеринбург), 2016. – С. 192 – 195.

138. Утегулов, Б.Б. Определение параметров изоляции в несимметричной сети напряжением выше 1000 В горных предприятия [Текст] / Б.Б. Утегулов, А.П. Полупанов, А.Б. Абдыкаримов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности в условиях современных предприятия: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1993. – С. 17 – 18.

139. Утегулов, Б.Б. Анализ погрешности разработанного способа определения параметров изоляции в сети напряжением 6 кВ [Текст] / Б.Б. Утегулов // Вестник науки. – Выпуск №4. – Технические науки. – КАТУ им. С. Сейфулина. – Астана, 2015. №4 (87). – С.89 – 98.

140. Утегулов, Б.Б. Исследование условий и повышение уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок 6 кВ угольных разрезов [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. Утегулов Болатбек Бахитжанович. – Москва, 1981. – 154 с.

141. Утегулов, Б.Б. Определение параметров изоляции карьерных электроустановок 6 кВ [Текст] / Б.Б. Утегулов, А.П. Полупанов // Контроль

изоляции в распределительных сетях: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1992. – С. 20 – 21.

142. Федоров, А.А. Энергоснабжение промышленных предприятий [Текст] / А.А. Федоров, Э.М. Ристхейн. – М.: Энергия, 1981. – 369 с.

143. Федоров, А.И. Рациональный метод определения состояния изоляции электрических сетей горно-обогатительных предприятий [Текст] / А.И. Федоров, А.А. Хачатурянц // Охрана труда в цветной металлургии: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1990. – С. 25.

144. Халилов, И.Х. Состояние и перспективные развития горной и металлургической промышленности Республики Таджикистан [Текст] / И.Х. Халилов // Политехнический вестник. Серия: интеллект; инновации; инвестиции, 2018. – Т. 2, № 2(41). – С. 144–154.

145. Хусаинова, Н.А. Определение параметров изоляции относительно земли в распределительных сетях 6 – кВ с изолированной нейтралью и источниками компенсации реактивной мощности на основе измерения режимных параметров [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. / Хусаинова Назия Абдрахмановна. – Челябинск, 2001. – 138 с.

146. Цапенко, Е.Ф. Электробезопасность на горных предприятиях [Текст] / Е.Ф. Цапенко, С.З. Шкундин. – 2-е изд. – М.: изд-во МГГУ, 2003. – 103 с.

147. Цапенко, Е.Ф. Устройства непрерывного измерения сопротивления изоляции в сетях 6,10 кВ с изолированной нейтралью [Текст] / Е.Ф. Цапенко, И.А. Орловский, И. Ф. Горячов // Промышленная энергетика, 1988. – № 10. – С. 27 – 29.

148. Цапенко, Е.Ф. Вентильная схема контроля сопротивления изоляции в сетях 6, 10 кВс изолированной нейтралью [Текст] / Е.Ф. Цапенко, А.С. Кудряцев // Промышленная энергетика, 1984. – № 8. – С. 46 – 48.

149. Чеботаев, Н.И. О надежности работы устройств защиты от однофазных замыканий на землю в условиях переходных процессов [Текст] / Н.И. Чеботаев, А.А. Васин, И.Е. Васильев // Электробезопасность на горнорудных предприятиях черной металлургии. Днепропетровск, 1979. – С. 103 – 105.

150. Черных, И.В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink [Текст] / И.В. Черных – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

151. Шаров, Ю.В. Современное состояние электрических сетей Республики Таджикистан по качеству электрической энергии [Текст] / Ю. В. Шаров, В.Н. Тульский, И.И. Карташев и др. // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. Серия «Энергетика», 2011. – № 4. – С. 40–50.

152. Шаткин, А. Н. Непрерывный контроль сопротивления изоляции гибкого кабеля и оборудования экскаватора [Текст] / А.Н. Шаткин // Промышленная энергетика, 1985. – № 8. – С. 48 – 50.

153. Шаткин А. Н. Устройство непрерывного контроля за состоянием изоляции в заводских электроустановках 6 кВ [Текст] / А.Н. Шаткин // Промышленная энергетика, 1981. – № 2. – С. 18 – 20.

154. Шаякберов, Н.Ш. Сравнительная вероятностная оценка уровня электробезопасности электроустановки [Текст] / Н.Ш. Шаякберов // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 225 – 227.

155. Шкрабец, Ф.П. Контроль параметров изоляции в распределительных сетях без снятия рабочего напряжения [Текст] / Ф.П. Шкрабец, Е.А. Вареник // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал), 2009. – Т. 8, №12. – С. 93 – 105.

156. Щуцкий, В.И. Об измерении сопротивления изоляции шахтного электрооборудования и кабелей / В.И. Щуцкий, О.С. Рахимов, Г.Ф. Горбачаев // Электробезопасность на горнорудных предприятиях. Днепропетровск, 1974. – С. 136 – 138.

157. Щуцкий, В.И. Метод определения параметров изоляции трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В [Текст] / В.И. Щуцкий, Б.Б. Утегулов // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 77.

158. Электрификация карьеров и приисков [Текст] / Б.П. Белых, И.А. Саламатов, М.А. Бондаренко и др. – М.: Недра, 1969. – 400 с.

159. Электрификация открытых горных работ: Учебник для вузов [Текст] / С.А. Волотковский, В.И. Щуцкий, Н.И. Чеботаев, и др. – М.: Недра, 1987. – 332 с.

160. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности [Текст] / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацежев, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1977. – 327 с.

161. Электробезопасность на открытых горных работах [Текст] / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М.: Недра, 1996. – 266 с.

162. Электробезопасность на открытых горных работах [Текст] / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192с.

163. Яковс, А.И. Теория и методы расчета заземлителей, работающих при токах промышленной частоты [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук: 05.00.00 / Яковс Алексей Иванович. – Москва, 1969. – 61 с.

164. Яковс, А.И. Электробезопасность в сельском хозяйстве [Текст] / А.И. Яковс, А.В. Луковников. – М.: Колос, 1981. – 240 с.

165. **Boboev, K.** Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan [Text] / K. Boboev, A. Sidorov, O. Khanzhina // Proceedings - 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Chelyabinsk, 22–24 сентября 2020 года. – Chelyabinsk, 2020. – P. 344-348. – DOI 10.1109/UralCon49858.2020.9216311.

166. **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.

167. Determination of the Dielectric Characteristics of Electric Equipment Insulation in the Presence of Utility-Frequency Interference Currents, Shinkarenko, G.V., Power Technology and Engineering, 50(3), pp. 341-346, 2016.

168. Diagnosis of inhomogeneous insulation degradation in electric cables by distributed shunt conductance estimation, Zhang, Q., Tang, H., *Control Engineering Practice* 21(9), pp. 1195-1203, 2013.

169. Insulation status mobile monitoring for power cable based on a novel fringing electric field method, Liang, M.-Y., Dian, S.-Y., Liu, T., *Lecture Notes in Electrical Engineering* 138 LNEE, pp. 987-994, 2012.

170. Using ultraviolet imaging method to detect the external insulation faults of electric device, Zang, C., Ye, H., Lei, H., (...), He, S., Zhao, X., *Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP 5377769*, pp. 26-30, 2009.

171. Utegulov, B. B. Analysis of the error of the developed method of determination the active conductivity reducing the insulation level between one phase of the network and ground, and insulation parameters in a non-symmetric network with isolated neutral with voltage above 1000 V [Текст] / *International Conference "Actual Problem of Electromechanics and Electrotechnology"* Institute of Physics Publishing, pp. 012-015. 2018.

172. Turan Gonen. *Electrical Machines with MATLAB, Second Edition* [Текст] / CRC Press, 2011– 654 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт о внедрении результатов диссертационной работы



Служба

по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан

743025 г. Душанбе ул. М.Турсунзола 27 тел. (+992 37) 221-06-72, 227-82-68, www.nazorat.tj, E-mail: info@nazorat.tj

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Службы по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан



Рахим Санъат Асо

23» 04 2021 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Х.Д. Бобоева «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан»

Результаты диссертационной работы Бобоева Хуршедшоха Давлаталиевича «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» внедрены в карьерных распределительных электрических сетях Службы по государственному надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Правительстве Республики Таджикистан, в частности: методика измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли.

Методика основана на измерении величин модулей линейного напряжения $U_{л}$, напряжения фазы относительно земли $U_{ф.о}$ и напряжения нейтрали сети относительно земли $U_{н.р}$ до и после подключения к одной из фаз дополнительной емкости.

В целом, применение указанной методики позволяет повысить уровень безопасности эксплуатации электрооборудования, надёжность и бесперебойность электроснабжения потребителей.

Заместитель Начальника

Мирзозода А.А.

Аспирант кафедры
«Безопасность жизнедеятельности»
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ)

Бобоев Х.Д.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Справки об использовании результатов диссертационной работы
в учебном процессе



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ ТАДЖИКИСТАНА

735162, Хатлонская область, р. Кушонийн, сел. Бохтариён, ул. И. Хусраев 73, тел: (+992)935646407,
E-mail: det.tj@mail.ru



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор

Института энергетики Таджикистана,
доцент Исозода Д.Т.

2021 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов
диссертационной работы Х.Д. Бобоева
«Обеспечение безопасности в распределительных
электрических сетях горнодобывающих предприятий
Республики Таджикистан»

Результаты диссертационной работы Бобоева Хуршедшоха Давлаталиевича «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» внедрены в учебный процесс Института энергетики Таджикистана, в частности:

– при изучении студентами электроэнергетического факультета специальности 1–430103 «Электроснабжения» дисциплины «Электробезопасность» - анализ и обзор существующих методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли и системы контроля изоляции в распределительных электрических сетях.

– при изучении студентами факультета электромеханического и инновационных технологий специальности 1–530104 «Релейная защита и автоматика электроэнергетических установок» дисциплины «Релейная защита и автоматика» - методика определения параметров изоляции фаз сети относительно земли для выбора уставок релейной защиты от однофазных замыканий на землю в электрических сетях с изолированием нейтрально.

Заведующий кафедрой
«Электроснабжение и электробезопасность»
кандидат технических наук,

Абдуллоев Х.В.

Заведующий кафедрой
«Релейная защита»
кандидат технических наук,

Носиров Н.С.



СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы Бобоева Хуршедшоха Давлаталиевича «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» в учебной процесс кафедр «Безопасность жизнедеятельности и экологии» и «Релейная защита и автоматика» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Комиссия в составе: председателя – проректор по учебной работе, первого проректора к.т.н., доцента Махмадизода М.М., членов комиссии: начальника УУ, д.т.н., доцента Фохакова А.С., начальника управления НиИ, к.т.н., доцента Рахмонзода А.Д., зав. каф. «Безопасность жизнедеятельности и экологии», доктор PhD Расулов О.У., зав. каф. «Релейная защита и автоматика», к.т.н., и.о. доцента Абдуллозода Р.Т. свидетельствует о том, что для обеспечения безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Бобоева Х.Д.

- разработана компьютерная модель 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;

- разработана методика исследования параметров изоляции фаз сети распределительных электрических сетей карьеров Республики Таджикистан относительно земли напряжением 6 кВ, основанную на подключение дополнительной емкости;

- разработана система контроля состояния изоляции в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан, основанную на измерении режимных параметров;

- доказано, что для определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в КРС наиболее подходящим является метод, основанный на подключении дополнительной емкости к одной из фаз;

- установлено влияние на точность измерений параметров сети относительно земли методом подключения к одной из фаз дополнительной емкости несимметрии в сети, изменения величины и характера нагрузки в ней;

- выявлены зависимости параметров изоляции фаз карьерных распределительных сетей отдельных горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан относительно земли от факторов окружающей среды



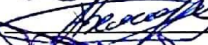


(температура воздуха, солнечной радиации, относительная влажность воздуха и количество осадков).

Настоящим подтверждаем, что результаты научного исследования Бобоева Х.Д. «Обеспечения безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» внедрены при изучении студентами направления «Электроэнергетика и электротехника» дисциплины «безопасность жизнедеятельности» и студентами направления «Релейная защита и автоматика электроэнергетических установок» дисциплины «Релейная защита и автоматика».

Использование указанных результатов позволяет повысить качество изучения вышеуказанных дисциплин с учетом современных научных и практических требований.

Председатель комиссии

Члены комиссии:

	Махмадизода М.М.
	Фохаков А.С.
	Рахмонзода А.Д.
	Расулов О.У.
	Абдуллозода Р.Т.

Подписи проректора по учебной работе, первого проректора, к.т.н., доцента Махмадизода М.М., членов комиссии: начальника УУ, д.т.н., доцента Фохакова А.С., начальника управления НиИ, к.т.н., доцента Рахмонзода А.Д., зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экологии», доктор PhD Расулов О.У., зав. каф. «Релейная защита и автоматика», к.т.н., и.о. доцента Абдуллозода Р.Т.

Заверяю

Начальник отдела кадров и специальных работ ТТУ им. акад. М.С. Осими




Шарипова Д.А.

ВАЗОРАТИ САНОАТ ВА
ТЕХНОЛОГИЯҲОИ НАВИ
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

ДОНИШКАДАИ КҶҲИЮ
МЕТАЛЛУРГИИ ТОҶИКИСТОН

735730, ш. Бӯстон, к. А. Баротов, 6
Телефон: (+9923451) 5-02-89, 5-01-75
gmit_tajikistan@mail.ru



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ТАДЖИКИСТАНА

735730, г. Бустон, ул. А. Баротова, 6
факс: (+9923451) 5-06-34
gmit_tajikistan@mail.ru

аз 30.03 21с. № 22
Ба _____ 21с. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
Горно-металлургического
института Таджикистана, кандидат
тематических наук, доцент
_____ Козиев К.С.



СПРАВКА

о внедрении результатов
диссертационной работы Х.Д. Бобоева
«Обеспечение безопасности в распределительных
электрических сетях горнодобывающих предприятий
Республики Таджикистан»

Результаты диссертационной работы Бобоева Хуршедшоха Давлаталиевича «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» внедрены в учебный процесс Горно-металлургического института Таджикистана, в частности:

– при изучении студентами электромеханического факультета специальности 430103 «Электроснабжения» дисциплины и «Электроснабжение промышленных предприятий», «Релейная защита и автоматика» - анализ и обзор существующих методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли. Методика определения параметров изоляции фаз сети относительно земли для выбора уставок релейной защиты от однофазных замыканий на землю в электрических сетях с изолированием нейтралью.

Заведующий кафедрой
«Электроснабжения»
кандидат технических наук, доцент

Шамсиев Р.М.

УТВЕРЖДАЮ


Проректор по учебной работе

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский

государственный университет

(национальный исследовательский университет),

доктор экономических наук, профессор

 Савельева И.П.

_____ 2021 г.

**СПРАВКА****об использовании результатов****диссертационной работы Х.Д. Бобоева****«Обеспечение безопасности в распределительных****электрических сетях горнодобывающих предприятий****Республики Таджикистан»**

Результаты диссертационной работы Бобоева Хуршедшоха Давлаталиевича «Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан» используются в учебном процессе Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), в частности:

– при изучении студентами направления «Техносферная безопасность» дисциплины «Основы электробезопасности» - методика определения параметров изоляции фаз сети относительно земли для выбора уставок релейной защиты от однофазных замыканий на землю в электрических сетях с изолированием нейтралью.

Заведующий кафедрой

«Безопасность жизнедеятельности»

доктор технических наук, профессор

 Сидоров А.И.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты исследований на компьютерной модели оценка различных методик измерения параметров изоляции основан на подключении к одной из фаз дополнительной емкости

Таблица В.1 – Расчетные формулы различных методик

Методика Петрова О.А.	Методика Сидорова А.И.	Методика Лапченкова К.В.
$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \left(\frac{U_{\phi}}{U_{nc}} - 1 \right),$	$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \frac{U'_A / U'_L}{U_A / U_L - U'_A / U'_L},$	$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \left(\frac{U_{\phi}}{U_{01.1}} \cdot \cos \varphi - 1 \right),$ $R_{из} = \frac{U_{01.1}}{U_{\phi} \cdot \omega \cdot \Delta C \cdot \sin \varphi},$
$R_{из} = \frac{3}{d\omega C_{\Sigma}} = \frac{1}{d\omega C_{\phi}}.$		$\varphi = \arccos \left(\frac{U_{\phi}^2 + U_{01.0}^2 - U_{1.01}^2}{2 \cdot U_{\phi} \cdot U_{01.0}} \right).$

В таблице приняты следующие обозначения:

C_{Σ} – суммарная емкость сети относительно земли; $R_{из}$ – активное сопротивление изоляции; ΔC – дополнительная емкость, подключаемая к одной из фаз сети; U_{ϕ} – фазное напряжение сети; U_{nc} и $U_{01.0}$ – напряжение смещения нейтрали при подключении дополнительной емкости; U_L и U'_L – линейные напряжения сети до и после подключения к фазе А дополнительной емкости ΔC , соответственно; U_A и U'_A – напряжения фазы А относительно земли до и после подключения дополнительной емкости; $U_{1.01}$ – напряжение относительно земли той фазы, к которой подключена дополнительная емкость; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота напряжения сети; d – коэффициент успокоения сети, который зависит от вида сети. Для сетей, состоящих преимущественно из кабельных линий, $d = 0,03-0,05$, для сетей, состоящих преимущественно из воздушных линий, $d = 0,3-0,5$.

Примечание в последующих таблицах: 1 – методика Петрова О.А., 2 – методика Сидорова А.И. и 3 - методика Лапченкова К.В.

Таблица В.2 – Результаты исследований параметров электрической сети на компьютерной модели при изменении активной нагрузки в сети (в %) и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Значение измеряемых напряжений и несимметрия в сети		Изменение активной нагрузки в сети (в %)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3636	3617	3599	3581	3563	3545	3527	3510	3492	3475	3458
	$U_{\phi,01}$	3084	3069	3053	3038	3022	3007	2992	2977	2962	2946	2933
	$U_{01.0}$	572,1	569,2	566,3	563,4	560,6	557,8	555	552,2	549,2	546,8	544,1
$U_{НС}=1\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6292	6285	6279	6272	6265	6257	6250	6242	6233	6225
	U_{ϕ}	3609	3606	3602	3599	3595	3591	3586	3582	3578	3573	3568
	$U_{\phi,01}$	3057	3055	3052	3049	3045	3042	3038	3034	3031	3027	3023
	$U_{01.0}$	593,1	592,5	591,8	591,2	590,4	589,7	589	588,2	587,4	586,6	585,7
$U_{НС}=2\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6292	6285	6279	6272	6265	6257	6250	6242	6233	6225
	U_{ϕ}	3583	3579	3576	3573	3568	3564	3560	3556	3552	3552	3542
	$U_{\phi,01}$	3031	3028	3025	3022	3019	3015	3012	3008	3005	3001	2997
	$U_{01.0}$	615	614,3	613,6	612,9	612,1	611,3	610,4	609,6	608,7	607,8	606,9
$U_{НС}=3\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6292	6285	6279	6272	6265	6257	6220	6242	6233	6225
	U_{ϕ}	3556	3552	3549	3546	3542	3538	3534	3530	3525	3521	3516
	$U_{\phi,01}$	3004	3001	2998	2996	2992	2989	2985	2989	2978	2975	2971
	$U_{01.0}$	638,2	637,5	636,7	635,9	635	634,1	633,2	632,3	631,3	630,4	629,4
$U_{НС}=4\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6292	6285	6279	6272	6265	6257	6250	6242	6233	6225
	U_{ϕ}	3492	3489	3486	3483	3479	3475	3471	3467	3463	3459	3454
	$U_{\phi,01}$	2953	2951	2948	2945	2942	2939	2935	2932	2929	2925	2921
	$U_{01.0}$	696,3	695,4	694,5	693,6	692,5	691,5	690,5	689,4	688,3	687,2	686,1
$U_{НС}=5\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6292	6285	6279	6272	6265	6257	6250	6242	6233	6225
	U_{ϕ}	3452	3449	3446	3443	3439	3435	3431	3427	3423	3419	3415
	$U_{\phi,01}$	2924	2921	2919	2916	2913	2910	2906	2903	2900	2896	2892
	$U_{01.0}$	736,8	735,9	734,8	733,9	732,7	731,6	730,5	729,4	728,2	727	725,7

Таблица В.3 – Определение параметров изоляции фаз сети относительно земли по различным методикам

Изменение активной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Cф	Rф	Cф	Rф	Cф	φ	Rф	Cф
При несимметрии 0%									
0	77093,04	0,1377	74332,327	0,1428	71253,315	0,1490	14,000	77675,723	0,1378
10	-	-	74346,203	0,1428	71082,720	0,1493	14,418	75481,613	0,1375
20	-	-	74335,707	0,1428	71194,460	0,1491	14,142	76911,807	0,1377
30	-	-	74325,106	0,1428	71152,870	0,1492	14,214	76521,020	0,1376
40	-	-	74330,132	0,1428	71266,129	0,1490	13,965	77861,282	0,1378
50	-	-	74335,210	0,1428	71224,468	0,1490	14,072	77285,156	0,1377
60	-	-	74340,340	0,1428	71182,389	0,1491	14,180	76716,360	0,1376
70	-	-	74320,387	0,1428	71273,607	0,1489	13,927	78064,614	0,1379
80	-	-	74293,385	0,1429	71231,351	0,1490	13,965	77828,781	0,1379
90	-	-	74337,531	0,1428	71483,086	0,1485	13,472	80666,024	0,1381
100	-	-	74333,477	0,1428	71257,012	0,1490	13,994	77709,483	0,1378
При несимметрии 1%									
0	77093,04	0,1377	78287,307	0,1356	71882,638	0,1477	19,662	58331,802	0,1261
10	-	-	78270,395	0,1356	71799,389	0,1479	19,769	58016,524	0,1261
20	-	-	78263,628	0,1356	71739,530	0,1480	19,854	57775,016	0,1260
30	-	-	78246,665	0,1357	71810,116	0,1478	19,719	58143,888	0,1262
40	-	-	78224,006	0,1357	71904,448	0,1476	19,537	58648,990	0,1264
50	-	-	78217,167	0,1357	71844,496	0,1478	19,623	58398,964	0,1263
60	-	-	78236,411	0,1357	71808,053	0,1478	19,708	58169,247	0,1262
70	-	-	78213,659	0,1357	71902,725	0,1476	19,525	58677,140	0,1264
80	-	-	78190,858	0,1358	71842,553	0,1478	19,588	58480,639	0,1264
90	-	-	78194,183	0,1358	71805,976	0,1478	19,651	58303,235	0,1263
100	-	-	78181,547	0,1358	71769,302	0,1479	19,691	58181,031	0,1263

Продолжение таблицы В.3

Изменение активной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Cф	Rф	Cф	Rф	Cф	φ	Rф	Cф
При несимметрии 2%									
0	77093,04	0,1377	82488,154	0,1287	72499,249	0,1464	23,901	50593,835	0,1154
10	-	-	82485,978	0,1287	72439,608	0,1465	23,974	50449,046	0,1153
20	-	-	82455,953	0,1287	72511,449	0,1464	23,852	50675,903	0,1155
30	-	-	82425,882	0,1288	72583,433	0,1463	23,730	50906,881	0,1156
40	-	-	82435,259	0,1288	72391,837	0,1466	23,980	50410,669	0,1154
50	-	-	82416,741	0,1288	72487,879	0,1464	23,840	50679,724	0,1155
60	-	-	82381,893	0,1289	72427,910	0,1466	23,879	50585,132	0,1155
70	-	-	82363,277	0,1289	72524,224	0,1464	23,738	50858,592	0,1157
80	-	-	82328,298	0,1289	72464,152	0,1465	23,776	50763,007	0,1157
90	-	-	82181,441	0,1292	73091,347	0,1452	22,811	52712,133	0,1170
100	-	-	82314,169	0,1290	72391,925	0,1466	23,852	50603,491	0,1157
При несимметрии 3%									
0	77093,04	0,1377	87072,626	0,1219	73150,873	0,1451	27,435	46520,330	0,1052
10	-	-	87075,604	0,1219	73091,347	0,1452	27,500	46420,421	0,1051
20	-	-	87032,028	0,1220	73164,488	0,1451	27,387	46577,768	0,1053
30	-	-	86988,387	0,1220	73080,455	0,1453	27,439	46477,156	0,1053
40	-	-	86957,903	0,1221	73178,157	0,1451	27,310	46665,072	0,1055
50	-	-	86927,354	0,1221	73118,419	0,1452	27,348	46592,628	0,1055
60	-	-	86896,740	0,1222	73216,400	0,1450	27,219	46783,136	0,1057
70	-	-	86866,060	0,1222	72052,941	0,1473	28,405	44968,625	0,1043
80	-	-	86848,566	0,1222	73121,147	0,1452	27,279	46666,352	0,1057
90	-	-	86817,759	0,1223	73061,072	0,1453	27,317	46593,354	0,1057
100	-	-	86800,154	0,1223	73025,446	0,1454	27,340	46549,585	0,1057

Окончание таблицы В.3

Изменение активной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Cф	Rф	Cф	Rф	Cф	φ	Rф	Cф
При несимметрии 4%									
0	77093,04	0,1377	99148,510	0,1071	72661,722	0,1461	35,507	41001,558	0,0822
10	-	-	99094,792	0,1071	72576,067	0,1463	35,545	40945,633	0,0822
20	-	-	99040,992	0,1072	72649,924	0,1461	35,463	41009,963	0,0824
30	-	-	98987,112	0,1072	72723,930	0,1460	35,380	41074,981	0,0825
40	-	-	98932,981	0,1073	72662,775	0,1461	35,400	41037,376	0,0825
50	-	-	98896,591	0,1073	72601,496	0,1462	35,428	40996,786	0,0825
60	-	-	98860,123	0,1074	72700,442	0,1460	35,335	41078,232	0,0827
70	-	-	98805,687	0,1074	72639,054	0,1461	35,355	41040,431	0,0827
80	-	-	98751,136	0,1075	72577,541	0,1463	35,374	41002,574	0,0827
90	-	-	98696,471	0,1076	72676,792	0,1461	35,272	41087,819	0,0829
100	-	-	98677,330	0,1076	72640,030	0,1461	35,290	41062,829	0,0829
При несимметрии 5%									
0	77093,04	0,1377	108025,966	0,0983	71884,775	0,1477	39,778	39840,578	0,0694
10	-	-	107977,524	0,0983	71958,604	0,1475	39,713	39880,794	0,0695
20	-	-	107891,680	0,0984	71871,529	0,1477	39,738	39835,191	0,0695
30	-	-	107843,063	0,0984	71945,471	0,1476	39,673	39875,650	0,0696
40	-	-	107778,124	0,0985	71882,906	0,1477	39,689	39842,887	0,0696
50	-	-	107731,759	0,0985	71820,211	0,1478	39,713	39809,801	0,0696
60	-	-	107685,295	0,0986	71919,069	0,1476	39,632	39863,825	0,0698
70	-	-	107638,731	0,0986	71856,261	0,1477	39,655	39830,604	0,0698
80	-	-	107573,302	0,0987	71793,323	0,1479	39,672	39797,622	0,0698
90	-	-	107507,737	0,0987	71892,485	0,1477	39,584	39852,369	0,0700
100	-	-	107423,237	0,0988	71991,921	0,1475	39,489	39908,114	0,0702

Таблица В.4 – Результаты исследований параметров электрической сети на компьютерной модели при изменении реактивной нагрузки в сети (в %) и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Значение измеряемых напряжений и несимметрия в сети		Изменение реактивной нагрузки в сети (в %)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3636	3621	3606	3591	3576	3562	3547	3533	3519	3505	3491
	$U_{\phi.01}$	3084	3072	3059	3046	3034	3021	3009	2997	2985	2973	2961
	$U_{01.0}$	572,1	569,7	567,4	565	562,7	560,4	558,2	555,9	553,7	551,5	549,3
$U_{НС}=1\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3609	3594	3579	3565	3550	3536	3521	3507	3493	3479	3465
	$U_{\phi.01}$	3057	3046	3032	3020	3007	2995	2983	2971	2959	2947	2935
	$U_{01.0}$	593,1	590,6	588,2	585,8	583,4	581,1	578,7	576,4	574,1	571,8	569,6
$U_{НС}=2\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3583	3568	3553	3538	3524	3509	3495	3481	3467	3453	3440
	$U_{\phi.01}$	3031	3018	3006	2993	2981	2969	2957	2945	2933	2921	2910
	$U_{01.0}$	615	612,5	610	607,5	605	602,6	600,2	597,8	595,4	593,1	590,8
$U_{НС}=3\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3556	3541	3526	3512	3497	3483	3469	3455	3441	3427	3414
	$U_{\phi.01}$	3004	2991	2979	2967	2955	2942	2931	2919	2907	2895	2884
	$U_{01.0}$	638,2	635,6	633	630,5	627,9	625,4	622,9	620,5	618	615,6	613,2
$U_{НС}=4\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3492	3478	3463	3449	3435	3421	3408	3394	3380	3367	3353
	$U_{\phi.01}$	2953	2941	2929	2917	2905	2893	2882	2870	2858	2847	2836
	$U_{01.0}$	696,3	693,4	690,5	687,7	684,8	682	679,3	676,5	673,8	671,1	668,4
$U_{НС}=5\%$	$U_L = U^1_L,$	6298	6272	6246	6220	6195	6169	6144	6120	6095	6071	6046
	U_ϕ	3452	3438	3424	3410	3396	3382	3369	3355	3342	3329	3316
	$U_{\phi.01}$	2924	2912	2900	2888	2876	2865	2853	2842	2831	2819	2808
	$U_{01.0}$	736,8	733,7	730,6	727,6	724,5	721,5	718,5	715,6	712,6	709,7	708,6

Таблица В.5 – Определение параметров изоляции фаз сети относительно земли по различным методикам

Изменение реактивной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Сф	Rф	Сф	Rф	Сф	φ	Rф	Сф
При несимметрии 0%									
0	77093,04	0,1377	74332,327	0,1428	71253,315	0,1490	14,000	77675,723	0,1378
10	-	-	74326,156	0,1428	71142,889	0,1492	14,239	76390,656	0,1376
20	-	-	74335,482	0,1428	71184,955	0,1491	14,163	76798,716	0,1377
30	-	-	74329,274	0,1428	71227,380	0,1490	14,053	77385,498	0,1377
40	-	-	74338,691	0,1428	71115,468	0,1493	14,328	75937,449	0,1375
50	-	-	74323,418	0,1428	71289,719	0,1489	13,896	78236,601	0,1379
60	-	-	74348,694	0,1428	71177,127	0,1491	14,210	76565,244	0,1376
70	-	-	74333,335	0,1428	71196,462	0,1491	14,132	76961,450	0,1377
80	-	-	74333,786	0,1428	71215,952	0,1491	14,089	77195,495	0,1377
90	-	-	74334,240	0,1428	71235,600	0,1490	14,045	77433,613	0,1377
100	-	-	74334,698	0,1428	71255,407	0,1490	14,000	77675,914	0,1378
При несимметрии 1%									
0	77093,04	0,1377	78287,307	0,1356	71882,638	0,1477	19,662	58331,802	0,1261
10	-	-	78281,769	0,1356	71619,457	0,1482	20,066	57198,520	0,1258
20	-	-	78292,113	0,1356	71818,858	0,1478	19,769	58030,394	0,1260
30	-	-	78276,261	0,1356	71840,596	0,1478	19,712	58180,426	0,1261
40	-	-	78286,666	0,1356	71886,405	0,1477	19,655	58350,976	0,1261
50	-	-	78286,784	0,1356	71908,595	0,1476	19,620	58450,959	0,1262
60	-	-	78297,320	0,1356	71797,511	0,1479	19,810	57918,662	0,1260
70	-	-	78297,481	0,1356	71819,521	0,1478	19,775	58015,423	0,1260
80	-	-	78297,644	0,1356	71841,709	0,1478	19,741	58113,467	0,1260
90	-	-	78297,808	0,1356	71864,079	0,1477	19,706	58212,821	0,1261
100	-	-	78314,427	0,1356	71886,631	0,1477	19,693	58257,724	0,1261

Продолжение таблицы В.5

Изменение реактивной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Сф	Rф	Сф	Rф	Сф	φ	Rф	Сф
При несимметрии 2%									
0	77093,04	0,1377	82488,154	0,1287	72499,249	0,1464	23,901	50593,835	0,1154
10	-	-	82500,294	0,1287	72547,728	0,1463	23,854	50695,787	0,1154
20	-	-	82512,536	0,1287	72440,046	0,1465	24,001	50408,417	0,1152
30	-	-	82524,884	0,1286	72488,673	0,1464	23,953	50509,262	0,1153
40	-	-	82509,061	0,1287	72513,392	0,1464	23,906	50595,835	0,1153
50	-	-	82538,032	0,1286	72404,228	0,1466	24,073	50280,761	0,1151
60	-	-	82538,732	0,1286	72428,804	0,1466	24,043	50339,867	0,1151
70	-	-	82539,438	0,1286	72453,581	0,1465	24,012	50399,669	0,1152
80	-	-	82540,149	0,1286	72478,560	0,1465	23,982	50460,177	0,1152
90	-	-	82557,673	0,1286	72503,745	0,1464	23,969	50494,903	0,1152
100	-	-	82546,358	0,1286	72504,213	0,1464	23,957	50513,899	0,1152
При несимметрии 3%									
0	77093,04	0,1377	87072,626	0,1219	73150,873	0,1451	27,435	46520,330	0,1052
10	-	-	87088,001	0,1219	73202,623	0,1450	27,393	46592,184	0,1052
20	-	-	87103,507	0,1219	73096,602	0,1452	27,517	46405,292	0,1051
30	-	-	87105,751	0,1219	73123,896	0,1452	27,490	46447,853	0,1051
40	-	-	87121,464	0,1218	73016,694	0,1454	27,615	46260,855	0,1049
50	-	-	87123,799	0,1218	73204,025	0,1450	27,421	46563,594	0,1052
60	-	-	87126,153	0,1218	73071,298	0,1453	27,562	46345,102	0,1050
70	-	-	87145,645	0,1218	73098,937	0,1452	27,550	46373,473	0,1050
80	-	-	87148,108	0,1218	73126,804	0,1452	27,522	46416,633	0,1050
90	-	-	87167,850	0,1218	73154,901	0,1451	27,509	46445,613	0,1050
100	-	-	87156,627	0,1218	73157,858	0,1451	27,497	46459,958	0,1050

Окончание таблицы В.5

Изменение реактивной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Сф	Rф	Сф	Rф	Сф	φ	Rф	Сф
При несимметрии 4%									
0	77093,04	0,1377	99148,510	0,1071	72661,722	0,1461	35,507	41001,558	0,0822
10	-	-	99129,150	0,1071	72687,482	0,1460	35,478	41024,110	0,0823
20	-	-	99145,383	0,1071	72577,541	0,1463	35,568	40938,748	0,0821
30	-	-	99143,854	0,1071	72603,167	0,1462	35,548	40958,231	0,0821
40	-	-	99124,233	0,1071	72629,006	0,1462	35,519	40980,786	0,0822
50	-	-	99122,605	0,1071	72655,058	0,1461	35,499	41000,683	0,0822
60	-	-	99102,860	0,1071	72656,108	0,1461	35,488	41004,648	0,0823
70	-	-	99101,131	0,1071	72682,483	0,1461	35,468	41024,856	0,0823
80	-	-	99117,761	0,1071	72709,079	0,1460	35,456	41042,284	0,0823
90	-	-	99097,757	0,1071	72710,351	0,1460	35,445	41046,497	0,0823
100	-	-	99114,506	0,1071	72571,263	0,1463	35,558	40938,904	0,0822
При несимметрии 5%									
0	77093,04	0,1377	108025,966	0,0983	71884,775	0,1477	39,778	39840,578	0,0694
10	-	-	108005,038	0,0983	71907,591	0,1476	39,756	39853,054	0,0694
20	-	-	107983,942	0,0983	71930,595	0,1476	39,733	39865,665	0,0694
30	-	-	107981,539	0,0983	71953,791	0,1475	39,718	39878,153	0,0695
40	-	-	107960,174	0,0983	71977,180	0,1475	39,695	39891,027	0,0695
50	-	-	107957,654	0,0983	71836,685	0,1478	39,784	39815,684	0,0694
60	-	-	107914,382	0,0984	71999,303	0,1474	39,664	39903,614	0,0696
70	-	-	107930,822	0,0984	71857,757	0,1477	39,761	39827,298	0,0694
80	-	-	107887,101	0,0984	71855,728	0,1477	39,746	39826,774	0,0695
90	-	-	107862,362	0,0984	72020,389	0,1474	39,632	39915,802	0,0697
100	-	-	108186,695	0,0981	72018,981	0,1474	39,750	39910,418	0,0693

Таблица В.6 – Результаты исследований параметров электрической сети на компьютерной модели при изменении полной нагрузки в сети (в %) и несимметрии в сети от 0 до 5 %

Значение измеряемых напряжений и несимметрия в сети		Изменение полной нагрузки в сети (в %)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{НС}=0\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3636	3617	3599	3581	3563	3545	3527	3510	3492	3475	3458
	$U_{\phi.01}$	3084	3069	3053	3038	3022	3007	2992	2977	2962	2946	2933
	$U_{01.0}$	572,1	569,2	566,3	563,4	560,6	557,8	555	552,2	549,2	546,8	544,1
$U_{НС}=1\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3609	3591	3573	3555	3537	3519	3502	3484	3467	3450	3433
	$U_{\phi.01}$	3057	3042	3027	3012	2996	2981	2966	2951	2937	2922	2908
	$U_{01.0}$	593,1	590	587	584,1	581	578,1	575,1	572,3	569,4	566,5	563,7
$U_{НС}=2\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3583	3564	3546	3529	3511	3493	3476	3459	3442	3425	3408
	$U_{\phi.01}$	3031	3015	3000	2985	2970	2955	2941	2926	2912	2897	2882
	$U_{01.0}$	615	611,8	608,6	605,6	602,4	599,3	596,2	593,2	590,2	587,2	584,2
$U_{НС}=3\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3556	3538	3520	3503	3485	3467	3450	3433	3416	3399	3383
	$U_{\phi.01}$	3004	2989	2974	2959	2944	2929	2915	2900	2886	2872	2858
	$U_{01.0}$	638,2	634,9	631,5	628,3	625	621,7	618,5	615,3	612,2	609	605,9
$U_{НС}=4\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3492	3475	3457	3440	3423	3406	3389	3373	3356	3340	3324
	$U_{\phi.01}$	2953	2938	2924	2909	2895	2880	2866	2852	2838	2825	2811
	$U_{01.0}$	696,3	692,5	688,8	685,2	681,4	677,7	674,1	670,5	667	663,5	660
$U_{НС}=5\%$	$U_{Л} = U_{Л}^1,$	6298	6266	6234	6203	6171	6140	6109	6079	6049	6019	5989
	U_{ϕ}	3452	3433	3418	3404	3384	3367	3351	3335	3318	3302	3287
	$U_{\phi.01}$	2924	2909	2895	2881	2866	2852	2838	2824	2811	5797	2784
	$U_{01.0}$	736,8	732,8	728,7	724,8	720,7	716,8	712,9	709,1	705,2	701,5	697,7

Таблица В.7 – Определение параметров изоляции фаз сети относительно земли по различным методикам

Изменение полной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Cф	Rф	Cф	Rф	Cф	φ	Rф	Cф
При несимметрии 0%									
0	77093,04	0,1377	74332,327	0,1428	71253,315	0,1490	14,000	77675,723	0,1378
10	-	-	74346,203	0,1428	71082,720	0,1493	14,418	75481,613	0,1375
20	-	-	74335,707	0,1428	71194,460	0,1491	14,142	76911,807	0,1377
30	-	-	74325,106	0,1428	71152,870	0,1492	14,214	76521,020	0,1376
40	-	-	74330,132	0,1428	71266,129	0,1490	13,965	77861,282	0,1378
50	-	-	74335,210	0,1428	71224,468	0,1490	14,072	77285,156	0,1377
60	-	-	74340,340	0,1428	71182,389	0,1491	14,180	76716,360	0,1376
70	-	-	74320,387	0,1428	71273,607	0,1489	13,927	78064,614	0,1379
80	-	-	74293,385	0,1429	71231,351	0,1490	13,965	77828,781	0,1379
90	-	-	74337,531	0,1428	71483,086	0,1485	13,472	77666,024	0,1381
100	-	-	74333,477	0,1428	71257,012	0,1490	13,994	77709,483	0,1378
При несимметрии 1%									
0	77093,04	0,1377	78287,307	0,1356	71882,638	0,1477	19,662	58331,802	0,1261
10	-	-	78264,782	0,1356	71844,496	0,1478	19,690	58236,698	0,1261
20	-	-	78257,985	0,1357	71805,976	0,1478	19,741	58087,343	0,1261
30	-	-	78267,153	0,1356	71767,072	0,1479	19,815	57884,408	0,1260
40	-	-	78244,184	0,1357	71884,593	0,1477	19,597	58488,309	0,1263
50	-	-	78253,375	0,1357	71845,681	0,1478	19,672	58280,723	0,1262
60	-	-	78219,646	0,1357	71940,592	0,1476	19,473	58831,095	0,1264
70	-	-	78245,160	0,1357	71901,569	0,1476	19,572	58562,358	0,1263
80	-	-	78227,490	0,1357	71837,678	0,1478	19,648	58332,788	0,1262
90	-	-	78209,647	0,1357	71933,978	0,1476	19,469	58835,654	0,1264
100	-	-	78208,227	0,1357	71869,606	0,1477	19,570	58544,112	0,1264

Продолжение таблица В.7

Изменение полной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Сф	Rф	Сф	Rф	Сф	φ	Rф	Сф
При несимметрии 2%									
0	77093,04	0,1377	82488,154	0,1287	72499,249	0,1464	23,901	50593,835	0,1154
10	-	-	82498,122	0,1287	72487,879	0,1464	23,926	50549,648	0,1153
20	-	-	82480,108	0,1287	72452,229	0,1465	23,952	50489,577	0,1153
30	-	-	82466,581	0,1287	72549,584	0,1463	23,816	50754,771	0,1155
40	-	-	82448,228	0,1288	72513,886	0,1464	23,841	50694,451	0,1155
50	-	-	82446,294	0,1288	72477,826	0,1465	23,884	50607,090	0,1154
60	-	-	82415,711	0,1288	72416,765	0,1466	23,928	50503,410	0,1154
70	-	-	82401,597	0,1288	72515,902	0,1464	23,789	50774,939	0,1156
80	-	-	82387,345	0,1289	72454,417	0,1465	23,851	50642,885	0,1156
90	-	-	82372,952	0,1289	72554,740	0,1463	23,710	50920,593	0,1157
100	-	-	82358,416	0,1289	72656,108	0,1461	23,566	51206,284	0,1159
При несимметрии 3%									
0	77093,04	0,1377	87072,626	0,1219	73150,873	0,1451	27,435	46520,330	0,1052
10	-	-	87061,009	0,1219	73118,419	0,1452	27,459	46477,097	0,1052
20	-	-	87032,478	0,1220	73085,638	0,1453	27,470	46447,860	0,1052
30	-	-	87007,140	0,1220	73187,060	0,1450	27,342	46636,743	0,1054
40	-	-	86995,011	0,1220	73154,294	0,1451	27,367	46593,067	0,1054
50	-	-	86982,757	0,1220	73121,193	0,1452	27,391	46549,039	0,1054
60	-	-	86956,791	0,1221	73062,678	0,1453	27,431	46475,141	0,1054
70	-	-	86930,570	0,1221	73166,044	0,1451	27,300	46668,934	0,1055
80	-	-	86921,389	0,1221	73107,159	0,1452	27,355	46579,177	0,1055
90	-	-	86894,733	0,1222	73047,700	0,1453	27,395	46504,069	0,1055
100	-	-	86853,995	0,1222	73126,947	0,1452	27,278	46671,241	0,1057

Окончание таблицы В.7

Изменение полной нагрузки в сети %	Заданные в модели		Полученные при измерениях по:						
			1 методике		2 методике		3 методике		
	Rф	Cф	Rф	Cф	Rф	Cф	φ	Rф	Cф
При несимметрии 4%									
0	77093,04	0,1377	99148,510	0,1071	72661,722	0,1461	35,507	41001,558	0,0822
10	-	-	99075,203	0,1071	72761,704	0,1459	35,395	41089,172	0,0824
20	-	-	99054,917	0,1072	72565,502	0,1463	35,533	40944,019	0,0822
30	-	-	99016,517	0,1072	72665,985	0,1461	35,439	41026,109	0,0824
40	-	-	98941,480	0,1073	72604,865	0,1462	35,448	40992,008	0,0825
50	-	-	98883,932	0,1074	72706,564	0,1460	35,342	41078,920	0,0827
60	-	-	98844,123	0,1074	72645,023	0,1461	35,369	41038,576	0,0827
70	-	-	98767,360	0,1075	72722,461	0,1460	35,273	41110,825	0,0829
80	-	-	98745,064	0,1075	72660,392	0,1461	35,309	41066,958	0,0828
90	-	-	98685,659	0,1076	72572,008	0,1463	35,346	41009,288	0,0828
100	-	-	98625,696	0,1076	72650,212	0,1461	35,257	41079,488	0,0830
При несимметрии 5%									
0	77093,04	0,1377	108025,966	0,0983	71884,775	0,1477	39,778	39840,578	0,0694
10	-	-	108036,347	0,0983	71708,053	0,1480	39,895	39746,296	0,0692
20	-	-	107867,318	0,0984	71917,318	0,1476	39,700	39860,134	0,0696
30	-	-	107815,198	0,0985	71852,263	0,1477	39,722	39825,877	0,0696
40	-	-	107724,577	0,0985	71950,520	0,1475	39,626	39880,211	0,0698
50	-	-	107671,239	0,0986	71884,966	0,1477	39,649	39845,608	0,0698
60	-	-	107576,578	0,0987	71959,036	0,1475	39,566	39887,325	0,0700
70	-	-	107500,298	0,0988	72033,841	0,1474	39,490	39929,518	0,0701
80	-	-	107445,072	0,0988	71800,502	0,1479	39,620	39803,529	0,0700
90	-	-	107386,870	0,0989	71875,235	0,1477	39,551	39845,133	0,0701
100	-	-	107267,144	0,0990	71924,87554	0,1476	39,474	39874,537	0,0703

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Программа измерения



Исрофилов Р.Г.

2021 г.

ПРОГРАММА

Измерение параметров изоляции фаз сети относительно земли при подключении к одной из фаз сети конденсатора, проводимого на подстанции «Вачагна».

1. ЦЕЛЬ проведения опытов

Определение полного сопротивления изоляции и ее активной, и емкостной составляющих электрической сети напряжением 6 кВ.

2. МЕСТО поведения опытов

- 2.1. Опыты провести на резервных ячейках подстанции «Вачагна».
- 2.2. Замеры провести на секции сборных шин, ячейка №1.
- 2.3. Измерения производить каждый час, записывая при этом температуру и относительную влажность окружающего воздуха, количество осадков, солнечную радиацию и давление.

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ работы

3.1. Подготовить схему измерения (рис.1.), выполнить надежное металлическое соединение фазы «С» ячейки с землей через конденсатор проводом 25 мм² (аналогично производится соединение фазы «С» ячейки для выполнения п.2.3).

4. ПОРЯДОК проведения опытов

4.1. Собрать электрическую схему в соответствии с рис.1.

4.2. Измерить напряжение естественной несимметрии на вторичной обмотке трансформатора, соединённой в разомкнутый треугольник. Если это напряжение меньше 1% фазного напряжения сети, то:

4.2.1. Включить шинный разъединитель ячейки №1.

4.2.2. Включить масляный выключатель ячейки №1.

4.2.3. Произвести замеры по приборам.

4.2.4. Отключить масляный выключатель ячейки №1.

4.2.5. Отключить шинный разъединитель ячейки №1.

Разрядить конденсатор схемы измерения.

4.3. Если напряжение естественной несимметрии больше 1% фазного напряжения сети, то:

4.3.1. Измерить на вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной в звезду, напряжения фазы, к которой будут подключен конденсатор, относительно земли и фазное напряжение сети.

4.3.2. Включить шинный разъединитель ячейки №1.

4.3.3. Включить масляный выключатель ячейки №1.

4.3.4. Произвести замеры по приборам.

4.3.5. Отключить масляный выключатель ячейки №1.

4.3.6. Отключить шинный разъединитель ячейки №1.

Разрядить конденсатор схемы измерения, разобрать схему измерения.

4.4. При необходимости измерения повторить.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты исследований в реальных распределительных электрических сетях
напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью карьера «Гаррор»
по разработанной методике

Для проведения исследований состояния изоляции фаз сети относительно земли в сетях напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью по разработанной методике, необходимо провести измерения величин модулей линейного напряжения, напряжения нулевой последовательности и напряжения фазы относительно земли до и после подключения дополнительной емкости.

Измерения указанных величин следует производить каждый час, записывая при этом температуру, солнечную радиацию, количество осадков и относительную влажность.

Расчет параметров изоляции фаз сети относительно земли проводят по соотношениям:

а) суммарная емкость изоляции фаз сети относительно земли:

– при напряжении несимметрии в сети $U_{НС} \leq 1\%$

$$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \left(\frac{U_{\phi}}{U_{ну}} - 1 \right), \quad (C.1)$$

– при напряжении несимметрии в сети $U_{НС} \geq 1\%$

$$C_{\Sigma} = \Delta C \cdot \frac{U'_A / U'_L}{U_A / U_L - U' / U'_L}, \quad (C.2)$$

б) активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли:

$$R_{уз} = \frac{3}{d\omega C_{\Sigma}} = \frac{1}{d\omega C_{\phi}}. \quad (C.3)$$

Таблица Д.1 – Результаты измерений в электрических сетях 6 кВ по разработанной методике в первый день измерений

Время измерения	Дата измерения										17.04.2021 г.		
	Напряжение в фазах (трансформатор напряжения (ТН)) и напряжение смещения (ТН -открытый треугольник), В										Параметры изоляции		
	U _Л		U _А		U _В		U _С		U _{НС}		С	Р	Z
	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	мкФ	Ом	
7 ⁰⁰	6198	6199	3563	2992	3673	4114	3503	3716	100,1	648,2	0,4187	76061,94	21856,2373
8 ⁰⁰	6198	6199	3562	2992	3673	4114	3502	3716	100,6	648,5	0,4195	75916,88	21814,5566
9 ⁰⁰	6198	6199	3562	2991	3675	416	3501	3715	102,4	649,7	0,4186	76080,11	21861,4586
10 ⁰⁰	6198	6199	3672	3084	3503	3970	3563	3736	99,6	519,0	0,4192	75971,216	21830,1683
11 ⁰⁰	6198	6199	3672	3084	3503	3970	3561	3736	99,5	519,2	0,41917	75976,65	21831,7306
12 ⁰⁰	6198	6199	3683	3092	3495	3964	3676	3733	110,7	511,1	0,4181	76171,09	21887,6023
13 ⁰⁰	6199	6199	3500	2939	3562	4026	3673	3853	103,2	651,0	0,4191	75989,34	21835,3770
14 ⁰⁰	6199	6199	3503	2941	3563	4026	3673	3850	100	649,1	0,4186	76071,44	21861,2528
15 ⁰⁰	6199	6199	3502	2941	3562	4026	3673	3851	100,5	649,5	0,4194	75936,085	21819,7841
16 ⁰⁰	6198	6199	3563	2992	3673	4114	3503	3716	100,1	648,2	0,4188	76048,72	21851,1358
17 ⁰⁰	6198	6199	3563	2993	3668	4009	3507	3719	94,88	644,9	0,4236	75182,5	21792,1398
18 ⁰⁰	6198	6199	3563	2993	3667	4108	3508	3719	93,57	644,1	0,4196	75890,3	21809,1563
19 ⁰⁰	6198	6199	3665	3078	3509	3974	3564	3739	91,15	524,7	0,4191	75995,37	21835,5201

Таблица Д.2 – Фиксированные параметры окружающей среды в первый день измерений

Время измерения	Дата измерения						17.04.2021 г.	
	Параметры окружающей среды							
	Температура	Относительная влажность	Количество осадков	Солнечная радиация		Давление воздуха	Скорость ветра	Точка росы
°С	%	мм	Вт/м ²	КАЛ/мин.см ²	мм/рт.ст.	m/s		
7:00	10,5	56,6	0	135	0	905,6	0,87	-1
8:00	14,3	43,8		955	0,5	906,8	0,66	-1,4
9:00	22,5	19,2		1014	0,9	906,7	0,32	-0,3
10:00	20,41	22,3		1025	1,2	906,5	0,08	-0,8
11:00	20,7	23,1		1016	1,1	906,4	0,1	-0,7
12:00	21,15	22,15		1015	1,1	905,5	2,12	-2,3
13:00	20,3	24,3		785	0,4	905,7	0,84	-1,6
14:00	20,8	25,7		987	0,6	905,2	0,53	-1,4
15:00	19,3	48,5		055	0	905,3	0,28	3,6
16:00	18,7	47,5		063	0	905,3	0,5	4,1
17:00	14,1	57,9		072	0	905,3	4,2	3,3
18:00	11,5	59,2		019	0	905,4	0,4	3,5
19:00	11	56,5		010	0	905,5	0,18	3,2

Таблица Д.3 – Результаты измерений в электрических сетях 6 кВ по разработанной методике во второй день измерений

Время измерения	Дата измерения										18.04.2021 г.		
	Напряжение в фазах (трансформатор напряжения (ТН)) и напряжение смещения (ТН -открытый треугольник), В										Параметры изоляции		
	U _Л		U _А		U _В		U _С		U _{НС}		С	Р	Z
	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	мкФ	Ом	
7:00	6199	6199	3578	3016	3583	4126	3575	3763	4,47	590,9	0,4044	78748,92	22629,0335
8:00	6199	6199	3578	3017	3581	4025	3577	3764	2,51	589,8	0,4053	78573,38	22578,7680
9:00	6199	6199	3578	3016	3581	4025	3577	3764	2,73	589,9	0,4052	78589,34	22584,2589
10:00	6199	6199	3681	3019	3577	4021	3578	3765	2,68	586,5	0,4085	77969,38	22402,1694
11:00	6199	6199	3581	3019	3577	4021	3578	3765	2,62	586,6	0,4084	77985,27	22407,5788
12:00	6199	6199	3581	3019	3577	4021	3678	3765	2,75	586,4	0,4085	77953,48	22401,7922
13:00	6199	6199	3529	2968	3568	4021	3640	3821	65,33	627,0	0,4232	75245,292	21623,6475
14:00	6199	6199	3525	2964	3567	4024	3645	3825	69,33	630,3	0,4227	75346,837	21649,5230
15:00	6199	6199	3524	2963	3567	4025	3646	3826	71,72	631,1	0,4225	75372,266	21659,5284
16:00	6198	6199	3559	2985	3700	4140	3481	3702	128,7	666,7	0,4156	76627,06	22019,2121
17:00	6199	6199	3559	2985	3700	4139	3481	3703	128,5	666,3	0,4156	76627,06	22019,2121
18:00	6199	6199	3578	3016	3584	4027	3574	3763	5,56	591,5	0,4039	78844,72	22657,0067
19:00	6199	6199	3684	3021	3575	4019	3578	3764	5,41	584,6	0,4105	77589,83	22293,0314

Таблица Д.4 – Фиксированные параметры окружающей среды во второй день измерений

Время измерения	Дата измерения						18.04.2021 г.	
	Параметры окружающей среды							
	Температура	Относительная влажность	Количество осадков	Солнечная радиация		Давление воздуха	Скорость ветра	Точка росы
°С	%	мм	Вт/м ²	КАЛ/мин.см ²	мм/рт.ст.	м/с		
7:00	8,7	64,6	0	040	0	906,5	0,24	1,4
8:00	11,3	66,2		139	0,1	907,9	0,18	4,8
9:00	12,5	57,5		352	0,3	908,1	0,09	3,4
10:00	20,4	31,6		1051	0,8	909,8	0,24	1,8
11:00	15,2	45,4		174	0,1	909,7	1,3	3,1
12:00	12	50,61		148	0	909,6	0,11	1,6
13:00	14,3	49		743	0	909,5	1,51	2,9
14:00	21,4	38,3		870	0,7	909,5	0,29	3,2
15:00	15,13	40,2		920	0,1	909,5	0,2	1,8
16:00	17,5	39,7		953	0,8	909,4	0,12	3,4
17:00	15,8	44,1		675	0,5	909,4	0,26	3,7
18:00	13,5	46,8		315	0,2	909,2	0,7	3,2
19:00	12,4	55,5		026	0	908,9	0,08	3,7

Таблица Д.5 – Результаты измерений в электрических сетях 6 кВ по разработанной методике в третьей день измерений

Время измерения	Дата измерения										19.04.2021 г.		
	Напряжение в фазах (трансформатор напряжения (ТН)) и напряжение смещения (ТН -открытый треугольник), В										Сопротивление изоляции		
	U _Л		U _А		U _В		U _С		U _{НС}		С	R	Z
	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	мкФ	Ом	
7:00	6198	6199	3572	3007	3613	4056	3551	3747	36,82	609,3	0,4253	74875,23	21913,7114
8:00	6198	6199	3568	3000	3640	4081	3530	3734	64,22	626,1	0,4221	75447,94	22024,6827
9:00	6198	6199	3568	3000	3640	4082	3529	3733	64,67	626,3	0,4221	75447,94	22024,6827
10:00	6198	6199	3683	3092	3495	3964	3561	3733	110,8	511,1	0,4181	76166,64	22484,4467
11:00	6198	6199	3688	3095	3490	3961	3560	3733	116,64	507,1	0,4171	76350,16	21878,0339
12:00	6198	6199	3700	3103	3481	3955	3559	3728	128,4	498,8	0,4154	76660,73	22495,7399
13:00	6199	6199	3486	2924	3560	4027	3694	3870	122,7	663,7	0,4162	76513,72	21613,6752
14:00	6199	6199	3476	2915	3558	4028	3706	3880	135,45	672	0,4157	76613,39	21659,6981
15:00	6199	6199	3466	2905	3556	4029	3718	3891	148,75	680,8	0,4143	76877,12	21908,5006
16:00	6198	6199	3570	3004	3626	4068	3540	3741	50,75	612,6	0,4242	75082,48	22567,7945
17:00	6198	6199	3566	2998	3650	4091	3522	3828	75,25	632,7	0,4218	75498,23	22584,2588
18:00	6198	6199	3572	3007	3616	4058	3549	3746	39,17	610,9	0,4253	74875,23	21516,9116
19:00	6198	6199	3645	3064	3525	3985	3567	3745	69,44	539,3	0,4215	75562,64	21675,0805

Таблица Д.6 – Фиксированные параметры окружающей среды в третьей день измерений

Время измерения	Дата измерения						19.04.2021 г.	
	Параметры окружающей среды							
	Температура	Относительная влажность	Количество осадков	Солнечная радиация		Давление воздуха	Скорость ветра	Точка росы
°С	%	мм	Вт/м ²	КАЛ/мин.см ²	мм/рт.ст.	m/s		
7:00	8,2	67,3	0	062	0	906,2	0,18	1,5
8:00	13,5	40,2		775	0,6	906,6	0,39	-0,8
9:00	15,3	42,3		1024	0,8	906,4	0,5	1,2
10:00	16,1	35,7		956	0,7	905,8	0,1	1
11:00	18,7	33,71		925	0,7	905,6	1,41	0,9
12:00	20,31	27,8		1000	0,8	905,4	0,65	-0,4
13:00	18,2	33,4		456	0,1	904,9	0,85	1,2
14:00	22,5	31,8		905	0,6	904,5	0,67	1,9
15:00	23,1	30,2		760	0,5	904,3	0,6	0,9
16:00	18,4	34,1		525	0,2	904,1	0,74	1,8
17:00	17,1	36,8		178	0	903,0	0,22	2,3
18:00	16,5	38,2		190	0	903,1	0,26	2,5
19:00	14,8	43,3		023	0	903,2	0,32	2,3

Таблица Д.7 – Результаты измерений в электрических сетях 6 кВ по разработанной методике в четвертый день измерений

Время измерения	Дата измерения										20.04.2021 г.		
	Напряжение в фазах (трансформатор напряжения (ТН)) и напряжение смещения (ТН -открытый треугольник), В										Сопротивление изоляции		
	U _Л		U _А		U _В		U _С		U _{НС}		С	R	Z
	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	до	пос.	мкФ	Ом	
7:00	6199	6199	3578	3016	3584	4028	3574	3763	5,94	591,7	0,4038	78876,66	22662,9121
8:00	6199	6199	3578	3016	3584	4027	3575	3763	5,45	591,4	0,4040	78828,66	22651,4805
9:00	6198	6199	3572	3006	3617	4060	3548	3745	40,76	611,9	0,4244	75032,56	21562,5068
10:00	6198	6199	3640	3061	3529	3988	3568	3746	65,16	542,8	0,4225	75376,48	21659,6284
11:00	6198	6199	3642	3062	3528	3987	3567	3746	67,12	541,4	0,4219	75481,92	21690,3897
12:00	6198	6199	3634	3059	3531	3989	3568	3747	62,3	544,8	0,423	75295,57	21634,2202
13:00	6199	6199	3532	2971	3568	4024	3636	3818	61,25	624,7	0,4237	75169,31	21598,4339
14:00	6199	6199	3552	2991	3573	4023	3611	3795	35	608,6	0,4265	74665,675	21456,3981
15:00	6199	6199	3556	2995	3573	4023	3607	3791	29,5	605,5	0,3898	81095,64	23462,1558
16:00	6198	6199	3575	3011	3600	4043	3562	3754	22,3	601,6	0,3958	810463,836	23134,4962
17:00	6198	6199	3575	3011	3599	4042	3562	3755	21,9	600,8	0,396	80415,56	23108,9533
18:00	6198	6199	3577	3015	3586	4030	3573	3761	8,14	592,9	0,4026	79094,9	22730,0617
19:00	6198	6199	3586	3022	3573	4018	3577	3763	7,61	583	0,4121	77284,71	22206,3856

Таблица Д.8 – Фиксированные параметры окружающей среды в четвертый день измерений

Время измерения	Дата измерения						20.04.2021 г.	
	Параметры окружающей среды							
	Температура	Относительная влажность	Количество осадков	Солнечная радиация		Давление воздуха	Скорость ветра	Точка росы
	°С	%	мм	Вт/м ²	КАЛ/мин.см ²	мм/рт.ст.	м/с	
7:00	10,1	54	0	070	0	902,6	1,1	3,1
8:00	11,4	53,5		250	0,1	902,5	0,59	2,3
9:00	16,8	40,3		590	0,4	902,4	0,09	1,6
10:00	20,6	30,1		1109	1	902,3	0,02	-0,8
11:00	23,4	23,2		1135	1	902,2	0,10	-2,1
12:00	21,6	23,6		1187	1,1	902,2	0,23	-0,3
13:00	18,2	36,5		450	0	902,1	1,3	-0,27
14:00	20,1	27,4		280	0	902,0	0,86	0,1
15:00	21,5	26,6		916	0,6	902,2	0,23	1,8
16:00	18,7	29,11		238	0	902,0	1,13	-0,2
17:00	20,9	23,8		685	0,7	902,1	0,51	-0,9
18:00	17,6	26,7		110	0	901,8	0,34	-1,9
19:00	15,81	30,3		034	0	901,7	0,86	-1,1