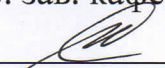


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы
«Электроэнергетические системы и сети»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой



Н.В. Савина
« 24 06 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Выявление аварий на полимерных изоляторах, методы обнаружения и индикаторы


Исполнитель
студент группы 742-ом



20.06.19
подпись, дата

В.И. Синякин

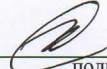
Руководитель
профессор,
канд. техн. наук



20.06.19
подпись, дата

Ю.В. Мясоедов


Руководитель
магистерской
программы



24.06.19
подпись, дата

Н.В. Савина

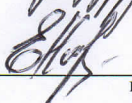
Нормоконтроль
ст. преподаватель



20.06.2019
подпись, дата

Н.С. Бодруг

Рецензент



25.06.2019
подпись, дата

Е.Б. Николченко

Благовещенск 2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

Н.В. Савина

« 07 » 03 2019 г.

ЗАДАНИЕ

К магистерской диссертации Синякина Владислава Игоревича

1. Тема магистерской диссертации:

Выявление аварий на полимерных изоляторах, методы обнаружения и индикаторы
(утверждено приказом от 08.03.19 № 531-УК)

2. Срок сдачи студентом законченной диссертации 26.06.19

3. Исходные данные к магистерской диссертации: материалы преддипломной практики

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке вопросов):

Современное состояние аварийных ситуаций электросетевого комплекса; анализ типов изоляторов и их классификаций; актуальные способы выявления дефектов изоляторов, способы их комбинаций; экономический эффект повышения надёжности передачи электрических мощностей.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): Приложение А Статистические данные аварийных ситуаций и их экономическая оценка; Приложение Б Современные способы оценки технического состояния изоляторов.

6. Консультанты по диссертации (с указанием относящихся к ним разделов) _____

7. Дата выдачи задания 04.03.19

Руководитель магистерской диссертации: _____ Мясоедов Юрий Викторович

канд. техн. наук, профессор
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 04.03.19
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 108 страниц, 29 рисунков, 12 таблиц, 10 формул, 43 источника.

ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, АВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ, ПОЛИМЕРНЫЙ ИЗОЛЯТОР, НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ГРОЗОВЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ, ПЕРЕКРЫТИЕ ИЗОЛЯТОРА, ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА ОТКАЗОВ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

В магистерской диссертации исследованы, обобщены и систематизированы актуальные способы обнаружения повреждений полимерных изоляторов, приведены способы их выявления, варианты комбинаций методик, эффективные методы индикации повреждений, дан анализ опыта эксплуатации электрических сетей аварийного режима, вызванного дефектами изоляторов, даны рекомендации по их предотвращению.

При анализе литературных источников по поставленной проблематике использована литература отечественных и зарубежных периодических изданий, журналов, материалов конференций, отчётов расследований аварийных ситуаций в электрических сетях. Определены причины возникновения дефектов полимерных изоляторов, проведена их классификация по участкам возникновения дефекта, классам напряжения, частоты возникновения.

На примере реальных схем электрической сети приведены примеры использования комбинированных методик обнаружения дефекта изоляторов.

Для технико-экономического обоснования повышения надёжности электроснабжения и, как следствия, обеспечения безотказности работы линейной аппаратуры, приведены показатели экономического эффекта, обусловленного снижением убытков от недоотпуска электрической энергии.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Современное состояние аварийных ситуаций электросетевого комплекса	10
1.1 Причины возникновения аварийных режимов работы электросетевого комплекса	10
1.2 Анализ современных крупных аварийных ситуаций в России	22
1.3 Анализ аварий, вызванных повреждением изоляторов	28
2 Анализ типов изоляторов и их классификаций	32
2.1 Классификация изоляторов	33
2.1.1 Классификация изоляторов по назначению	33
2.1.2 Классификация изоляторов по конструктивным признакам	34
2.1.3 Классификация изоляторов по материалу	40
2.2 Технические характеристики изоляторов	46
2.3 Дефекты изоляторов	49
2.3.1 Оценка состояние фарфоровых изоляторов	49
2.3.2 Оценка состояние стеклянных изоляторов	50
2.3.3 Оценка состояние полимерных изоляторов	50
3 Актуальные способы выявления дефектов изоляторов, способы их комбинации	52
3.1 Методы диагностики изоляторов, находящихся в эксплуатации	52
3.1.1 Визуальный контроль	54
3.1.2 Ультрафиолетовый контроль	54
3.1.3 Инфракрасный контроль	59
3.1.4 Акустический контроль	68
3.2 Встроенные устройства контроля состояния изоляторов	76
3.2.1 Визуальные способы контроля неисправности изоляторов	77
3.2.2 Электромеханические сигнальные устройства	83
3.2.3 Бесконтактная RFID технология контроля	84
3.2.4 Индикация пробоя с применением стеклянного изолятора	87

4 Экономический эффект повышения надежности передачи электрических мощностей	90
4.1 Расчёт экономического эффекта	90
4.2 Расчёт затрат на проведение диагностики	95
4.3 Расчёт чистого дохода	97
4.4 Расчёт рентабельности проекта	98
Заключение	101
Библиографический список	102

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АПВ - автоматическое повторное включение;
ГОСТ - государственный стандарт;
ГРЭС - государственная районная электростанция;
ДКР - древесно-кустарниковая растительность;
ЕЭС - единая энергетическая система;
ЗРУ - закрытое распределительное устройство;
КЗ - короткое замыкание;
КРУ - комплектное распределительное устройство;
КСО - сборные камеры одностороннего обслуживания;
ЛЭП - линия электропередачи;
НПЗ - нефтеперерабатывающий завод;
НТД - нормативно-техническая документация;
ОРУ - открытое распределительное устройство;
ППР - план профилактического ремонта;
ПС - подстанция;
ПЧР - поверхностный частичный разряд;
РД - руководящий документ;
РЗиА - релейная защита и автоматика;
ТЭЦ - тепловая электростанция;
ФСК - федеральная сетевая компания;
ЧД - чистый доход;
ЭОД - электронно-оптический дефектоскоп;
RFID - radio frequency identification.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным функционирования объектов электроэнергетики, представленным Министерством энергетики Российской Федерации, число аварийных режимов работы, приведших к недоотпуску электрической энергии потребителям по причине отказа изоляторов на ОРУ, ЛЭП и ПС составило 12% от общего числа аварий, число аварий только на ВЛ 22.6%. Возникновение аварий обусловлено старением изоляции, повреждением при проведении ремонтных работ, загрязнением, производственным дефектом. Повреждение полимерных изоляторов вызвано их пробоем или дуговым перекрытием, обусловленным высокой напряжённостью электрического поля, активностью искровых разрядов, что приводит к возникновению трещин в полимерной оболочке и разрушению торцевого уплотнения, вследствие чего необходим контроль состояния полимерных изоляторов.

Использование тепловизионного, оптического, акустического и радиоволнового контроля состояния изоляторов характеризуется эффективностью контроля и удобством использования, однако ввиду высокой протяженности объектов обследования, таких как ЛЭП, приборное обследование не находит широкого применения. В большинстве случаев визуальный осмотр полимерных изоляторов не позволяет выявить дефекты, что делает данный способ контроля состояния неэффективным.

Таким образом, в настоящее время актуальной является задача повышения контроля состояния изоляторов на объектах электросетевого комплекса, исследования новых способов контроля, комбинирования устройств индикации.

Объект исследования - высоковольтные полимерные изоляторы.

Предметом исследования магистерской диссертации является методы оценки технического состояния полимерных изоляторов

Цель исследования - определение эффективных способов контроля актуального состояния полимерных изоляторов, комплексное применение средств индикации их работы.

Для достижения поставленной цели для настоящей работы определены следующие задачи:

1. Анализ литературных источников по поставленной проблематике, обобщение и систематизация наиболее эффективных решений.
2. Выявление причин повреждения полимерных изоляторов, систематизация дефектов и ранжировка по степени влияния на надёжность.
3. Сбор данных опыта эксплуатации приборных способов диагностики изоляторов, методов сигнализации их состояния, обобщение и комплексное применение подходов.
4. Экономическое обоснование повышения надёжности электроснабжения, обусловленное снижением потерь от недоотпуска электроэнергии.
5. Предложение полученных результатов исследования для реальных схем электрической сети.

Для реализации поставленных задач в настоящей работе использованы следующие методы: теоретический анализ литературных источников по направлениям поставленной проблемы, использование результатов опыта эксплуатации объектов электросетевой инфраструктуры, обобщение и систематизация собранной информации.

Новизна представленной работы заключается в теоретическом обосновании комплексного подхода при контроле состояния полимерных изоляторов, предложении мероприятий повышения надёжности электроснабжения на примере реальных объектов электрической сети.

Практическая значимость обусловлена повышением надёжности передачи электрической энергии, что приведёт к позитивному изменению экономических показателей объекта эксплуатации.

В первой главе настоящей работе проведено исследование причин возникновения аварийных ситуаций в электросетевом комплексе. Приведена динамика числа аварий по годам эксплуатации в течение семи лет. Восстановлен ход событий наиболее значимых аварийных ситуаций для Российской электроэнергетики. В частности рассмотрены аварии, причиной возникновения которых стал дефект изоляторов.

Во второй главе рассмотрены электротехнические изоляторы. Приведена их классификация по материалу, конструкции, области применения. Выявлены достоинства и недостатки каждого, выделены возможные и наиболее частые причины их повреждений. Приведены критерии оценки их технического состояния.

В третьей главе систематизированы способы диагностики технического состояния изоляторов. В частности рассмотрены полимерные изоляторы. Приведены способы контроля аппаратов, находящихся в эксплуатации, а также средства встроенной диагностики. Расписаны этапы их проведения, достоинства и недостатки каждого подхода, предусмотрены способы их комплексного использования с целью расширения возможностей проведения диагностики.

В четвёртой главе рассчитан экономический эффект от мероприятий по оценке технического состояния. Рассчитаны основные технико-экономические показатели, а именно: системный эффект, обусловленный снижением ущерба от недоотпуска электроэнергии, приведённые затраты на приобретения аппаратов для проведения контроля, чистый доход от предлагаемых мероприятий.

На первом листе графической части представлены аналитические данные аварийных ситуаций электросетевого комплекса России, приведены экономические показатели своевременного проведения диагностики высоковольтных изоляторов.

На втором листе графической части отражены современные способы оценки технического состояния высоковольтных изоляторов.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

В связи с нарастающей зависимостью общества от электроэнергии, эффективность работы предприятий, безопасность эксплуатации электроприёмников, качество товаров производителей, функционирование жизненно важных или оборонных комплексов, напрямую зависит от режима работы электроэнергетической системы. Наибольший интерес представляет аварийный режим работы энергосистемы, последствия которого могут быть выражены как существенным недоотпуском электроэнергии потребителям, так и развитием каскадной аварии.

Целью настоящей главы является анализ сведений о причинах возникновения аварийных режимов работы электросетевого комплекса, их последствий, доле участия изоляторов в возникновении аварий.

1.1 Причины возникновения аварийных режимов работы электросетевого комплекса

Аварийным режимом работы электроэнергетической системы называют нарушение её работы, не предусмотренное плановым переходом от нормального режима работы к послеаварийному режиму, связанное с повреждением оборудования, перерывом электроснабжения или отключением потребителей, ухудшением качества электроэнергии. В частности к аварийным режимам работы так же относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка электросети;
- скачок тока;
- слабый ток;
- скачок напряжения;
- низкое напряжение;

- работа энергосистемы или её части с частотой электрического тока 49.2 Гц или ниже в течение суток продолжительностью от одного до трёх часов;
- аварийный режим работы энергосети, вызвавший перерыв энергоснабжения города продолжительностью более суток;
- аварийное отключение источников питания энергосистемы с последующим отключением потребителей электроэнергии с общей мощностью от 50% от суммарной мощности потребления.

Причинами возникновения аварий отказы устройств РЗА, повреждение или разрушение оборудования на электрических станциях, обрывы и повреждения линий электропередачи, разрушение или взрывы электрических аппаратов.

Так же причинами могут выступать чрезвычайные ситуации природного характера: землетрясения, наводнения, ураганы, удары молний и т.д.

Причины аварий в энергосистеме подлежат расследованию в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28.10.2009 № 846 «Об утверждении правил расследования причин аварий в электроэнергетике».

Согласно данным об аварийности в сегменте электроэнергетики, подготовленных согласно критериям, утверждённых Постановлением правительства Российской Федерации от 28 октября 2009 г., отмечено снижение числа аварий в ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на период 2017-2018 года.

Данные о количестве аварий, сформированы на основе актов расследования причин аварий на объектах электроэнергетики, размещенных в ПАК «База аварийности в электроэнергетике», а также аварий, расследование которых не завершено или не проводилось.

Таблица 1 – Количество аварий на объектах генерирующих компаний

Компания	Количество аварий				Рост/ снижение с начала года
	2017 г.		2018 г.		
	с начала года	декабрь	с начала года	декабрь	+/- %
АО «Интер РАО- Электрогенерация»	267	29	216	17	-19
ПАО «ОГК-2»	325	21	194	25	-40
ПАО «Юнипро»	64	7	67	4	5
ПАО «Энел Россия»	152	15	149	10	-2
ПАО «РусГидро»	147	6	103	1	-30
ПАО «ТГК-1»	154	6	122	9	-21
ПАО «ТГК-2»	78	4	44	6	-44
ПАО «Мосэнерго»	102	10	100	9	-2
ПАО «Квадра»	207	15	145	9	-30
ПАО «Т Плюс»	336	32	274	18	-18
ПАО «ЛУКОЙЛ» (сектор «Электроэнергетика»)	158	14	117	7	-26
ПАО «Фортум»	66	10	80	9	21
АО «ТГК-11» (включая АО «Томская генерация»)	79	10	56	1	-29
ООО «Сибирская генерирую- щая компания»	125	10	113	11	-10
ПАО «ТГК-14»	19	0	14	2	-26

Продолжение таблицы 1

Компания	Количество аварий				Рост/ снижение с начала года
	2017 г.		2018 г.		
	с начала	декабрь	с начала	декабрь	+/- %
ОАО «ТГК-16»	48	8	35	5	-27
ПАО «Иркутскэнерго»	100	16	101	16	1
АО «СИБЭКО» (Новосибирск)	25	2	27	0	8
АО «Татэнерго» (ОАО «Генерирующая компания»)	50	0	62	7	24
ООО «Башкирская ГК»	68	4	93	10	37
ОАО «Курганская ГК»	3	0	14	2	4,7
АО «ДГК»	220	20	257	29	17
АО «Концерн Росэнергоатом»	84	4	83	10	-1
Иные собственники ТЭС	846	74	702	66	-17
Электростанции Республики Крым и г. Севастополь	81	14	109	12	35
Всего на электростанциях ЕЭС России	3804	331	3277	295	-14

Данные об авариях в электрических сетях 110 кВ и выше приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Аварии в электрических сетях 110 кВ и выше

Компания	Количество аварий				Рост/ снижение с начала года
	2017 г.		2018 г.		
	с начала года	декабрь	с начала года	декабрь	+/- %
ОАО «Россети», в т.ч.:	11663	626	10871	509	-7

Продолжение таблицы 2

Компания	Количество аварий				Рост/ снижение с начала года
	2017 г.		2018 г.		
	с начала года	декабрь	с начала года	декабрь	+/- %
- ПАО «ФСК ЕЭС»	1487	79	1287	73	-13
- МРСК и отдельные РСК, в т.ч.:	10176	547	9584	436	-6
ПАО «МРСК Центра»	1237	63	1052	39	-15
ПАО «МРСК Северо-Запада»	817	42	769	36	-6
ОАО «МРСК Урала»	945	34	935	36	-1
ПАО «МРСК Сибири»	1416	53	1442	41	+2
ПАО «МРСК Центра и При- волжья»	908	33	832	17	-8
ПАО «МРСК Волги»	1111	72	959	41	-14
ПАО «МРСК Юга»	887	61	834	85	-6
ПАО «Кубаньэнерго»	383	32	411	23	+7
ПАО «МРСК Северного Кав- каза»	966	79	922	55	-5
ПАО «Ленэнерго»	300	18	288	14	-4
АО «Тюменьэнерго»	454	9	347	17	-24
ПАО «МОЭСК»	613	42	651	29	+6
АО «Янтарьэнерго»	71	8	77	2	+8
ПАО «Томская РК»	68	1	65	1	-4
Прочие региональные э/сетевые компании, в т.ч.:	1621	57	1582	43	-2
АО «Сетевая компания» (Та- тарстан)	228	11	244	9	+7
АО «БЭСК»	332	11	354	8	+7
ОАО «Иркутская ЭСК»	173	4	168	5	-3

Продолжение таблицы 2

Компания	Количество аварий				Рост/ снижение с начала года
	2017 г.		2018 г.		
	с нача- ла года	декабрь	с начала года	декабрь	+/- %
АО «РЭС» (Новосибирск)	229	8	241	5	+5
АО «ДРСК»	537	17	451	11	-16
ПАО «СУЭНКО» (АО «Курганэнерго»)	122	6	124	5	+2
ОАО «РЖД»	583	33	620	31	+6
Иные собственники электрических сетей	1065	57	1123	54	+5
Электрические сети Республики Крым и г. Севастополь, в т.ч.:	154	7	154	15	0
ГУП РК «Крымэнерго»	138	7	142	14	+3
Иные собственники электросетевых объектов 110 кВ Крымской энергосистемы	16	0	12	1	-25
Всего в электрических сетях ЕЭС России	15086	780	14350	652	-5

Для объектов энергетики за период 2017-2018 64 аварии привели к нарушению электроснабжения потребителей суммарной мощностью 590.8 МВт (около 277,937 человек). Из них:

- три аварии привели к каскадным аварийным отключениям в распределительных сетях суммарной мощностью 15.5 МВт (около 28,300 человек);

- причиной семи аварий стали неблагоприятные погодные условия, суммарный недоотпуск электрической мощности составил 5.5 МВт (около 28,600 человек);
- девять аварий привели к значительному снижению потребления электрической энергии промышленных предприятий, суммарная мощность составила 414.2 МВт;
- тридцать пять аварий в Крымской энергосистеме, суммарной мощностью 88 МВт (около 106,707 человек).

На рисунке 1 приведена диаграмма отключений ЛЭП 110 кВ и выше, на рисунке 2 приведён нарастающий итог отключений ЛЭП.

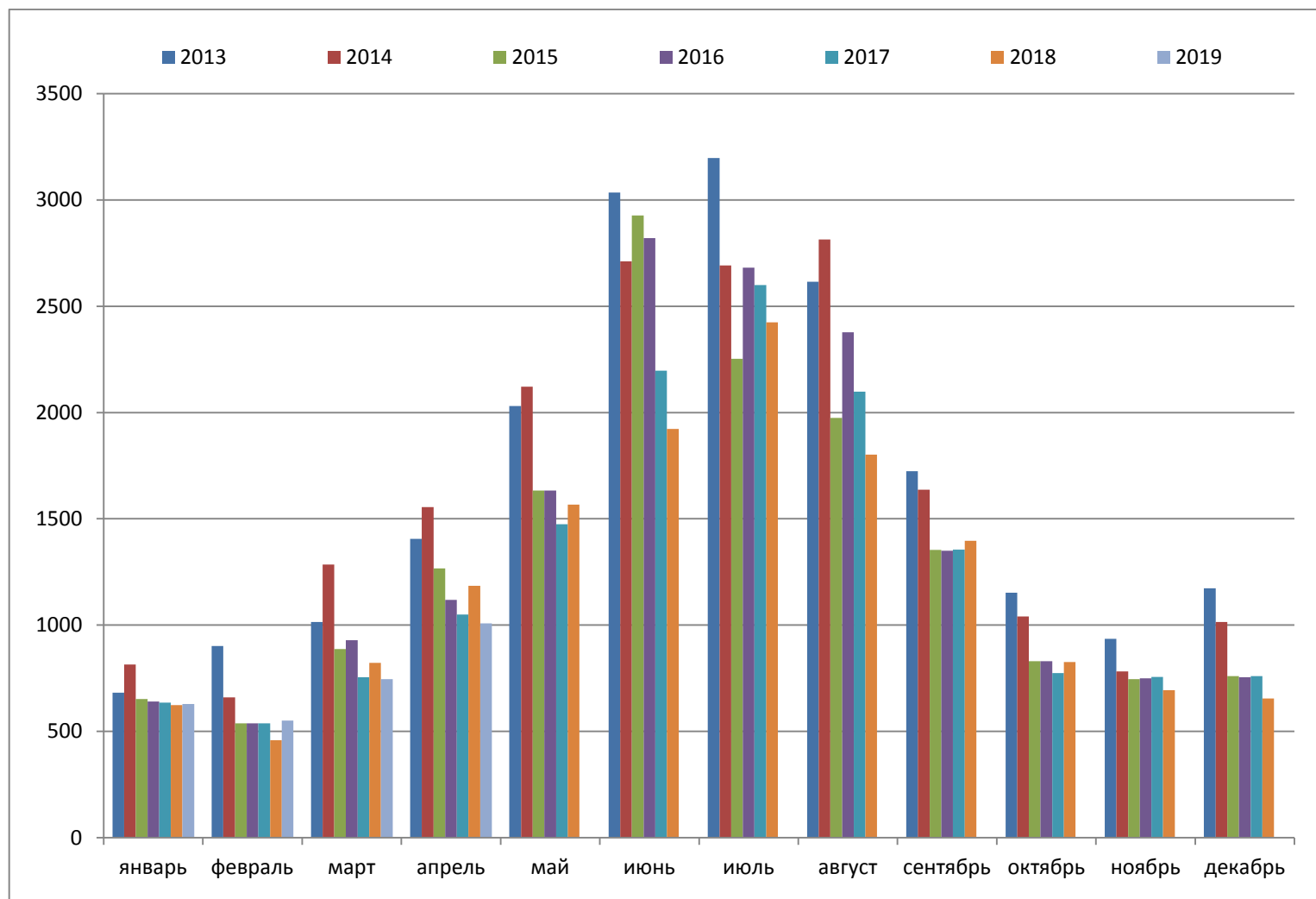


Рисунок 1 – Число аварий ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на период 2013-2019 года

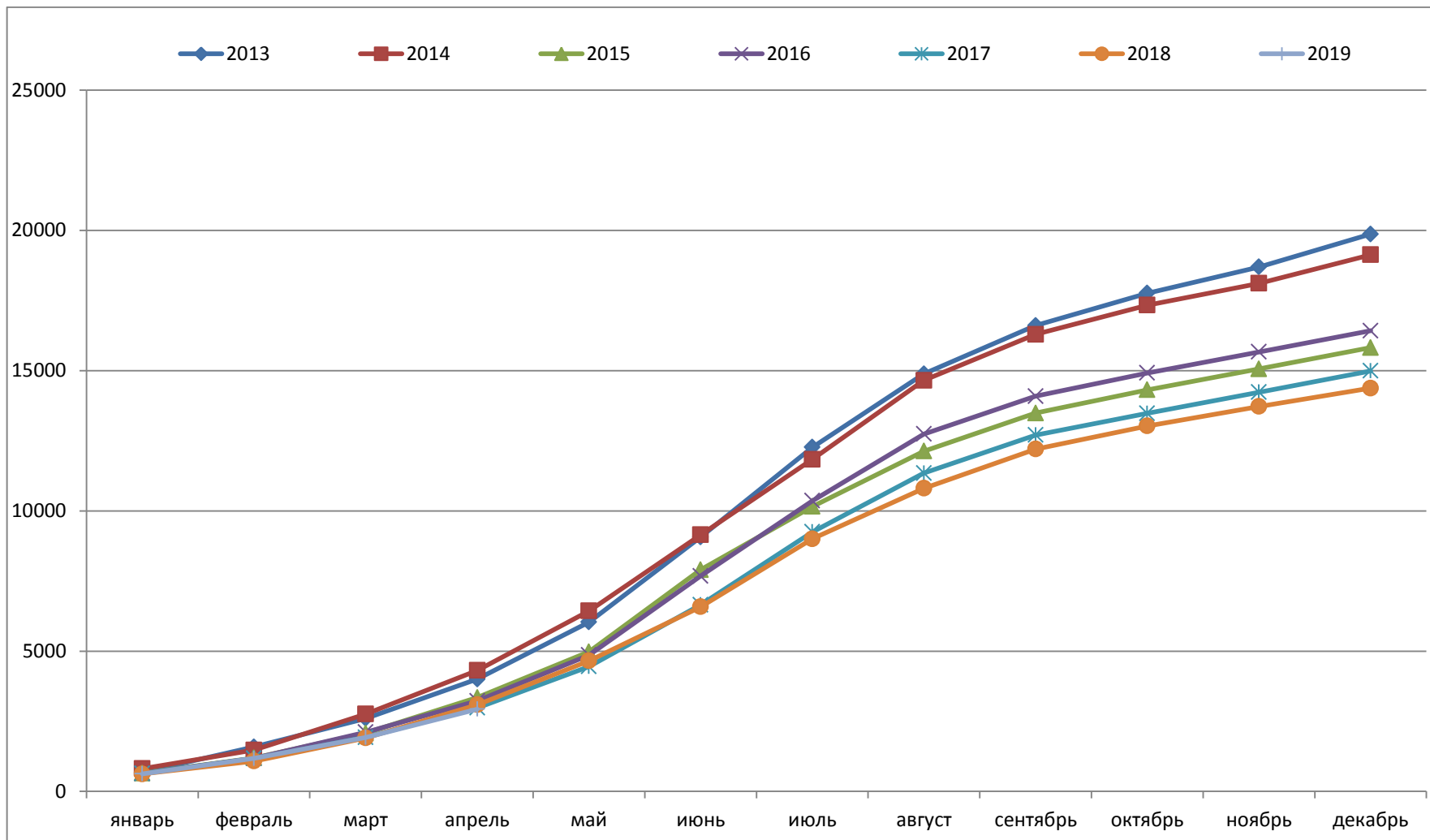


Рисунок 2 – Нарастающий итог отключений ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на период 2013-2019

Согласно оперативной информации об аварийных отключениях в сегменте электроэнергетики, зарегистрированных по линии оперативного дежурного персонала Минэнерго России, по состоянию на 25.01.2017 года масштабность аварий приведена в таблицах ниже [1].

При анализе данных отмечено снижение числа возникновения аварийных ситуаций по годам эксплуатации - 706 в 2017 году по сравнению с 524 авариями в 2018 году, относительное снижение составило 74%. Наибольшее число отключений вызвано авариями в ЛЭП напряжением 110 кВ.

Анализ аварий, вызвавших снижение мощности электростанций, так же показывает снижение аварийного числа отключений по годам эксплуатации - 125 аварий в 2017 году по сравнению со 111 авариями в 2018 году, относительное изменение составило 89%.

Для электрических станций мощностью до 150 МВт основными причинами перерыва электроснабжения стали: аварийное отключение действием защит или персонала и неисправность вспомогательного оборудования. Соответственные доли от общего числа отключений составляют 38% и 49%.

Для электрических станций мощностью более 150 МВт основными причинами перерыва электроснабжения стали: аварийное отключение действием защит или персонала и отключение персоналом для аварийного ремонта. Соответственные доли от общего числа отключений составляют 62% и 26%.

Масштаб аварий, выраженный отключением потребителей, составляет в 2018 году 54% по сравнению с количеством отключённых потребителей в 2017 году. Величина недоотпущенной электрической мощности в сеть составила в 2018 году 676.45 МВт, что является менее трети, чем недоотпуск мощности в 2017 году.

Таблица 3 – Число отключений ЛЭП

Номинальное напряжение, кВ	Число отключений					
	2017 год			2018 год		
	всего	с успешным АПВ	с отключением потребителей	всего	с успешным АПВ	с отключением потребителей
110	637	314	10	469	230	12
220	53	26	0	41	15	2
330	1	0	0	7	2	1
500 и выше	15	1	0	7	0	1
Итого	706	341	10	524	247	16

Таблица 4 – Число аварий, вызвавших снижение мощности электростанций

Классификация аварийных отключений	2017 год	2018 год
Снижение мощности электрических станций мощность 50-150 МВт		
Аварийное отключение действием защит или персонала	47	47
Отключение персоналом для аварийного ремонта	17	9
Неисправность вспомогательного оборудования	61	55
Итого	125	111

Продолжение таблицы 4

Классификация аварийных отключений	2017 год	2018 год
Снижение мощности электрических станций мощность 50-150 МВт		
Аварийное отключение действием защит или персонала	45	28
Отключение персоналом для аварийного ремонта	19	17
Неисправность вспомогательного оборудования	9	7
Итого	73	52

Таблица 5 – Масштабность аварий

Число аварий	Число и мощность отключённых потребителей			
	чел		МВт	
	2017 год	2018 год	2017 год	2018 год
Сегмент электроэнергетики	2,227,010	1,203,660	2,153.37	676.450

1.2 Анализ современных крупных аварийных ситуаций в России

На территории Российской Федерации за последнее десятилетие наблюдался ряд крупных аварий в энергосистеме. Наиболее значимые из них приведены ниже.

Авария в Москве.

25 мая 2005 года в Москве произошла одна из крупнейших аварий в электроэнергетическом кластере России. Хронология событий была следующей:

- 23 мая 2005 года произошло возгорание одного из трансформаторов ПС Чагино. После устранения возгорания функцию преобразования мощности взяли на себя пять трансформаторов, оставшихся в работе;
- На следующий день, 24 мая, произошло возгорание четырёх из пяти работоспособных трансформаторов. С целью снижения перегрузки оставшегося в эксплуатации единственного трансформатора было решено отключить от электроснабжения самого мощного потребителя - Московский НПЗ. Ввиду невозможности длительного перерыва электроснабжения Московского НПЗ из-за возможной катастрофы - остановки насосов и перегрева, питание НПЗ было возобновлено от ОРУ ТЭЦ-22 по схеме резервирования;
- 25 мая около 05:30 произошло разрушение последнего оставшегося в работе трансформатора вследствие его перегрузки, авария приняла каскадный характер развития;
- Действиями работы устройств РЗИА были отключены ВЛ 220 кВ: Очаково-Чоботы, Очаково-Лесная, Очаково-Кедрово, Очаково, Академическая - ТЭЦ-20;

- В результате отключений уровень напряжения южной части Москвы составлял 90 кВ, была отключена генерация ГЭС-1, ГРЭС-4 и семи ТЭЦ;
- В 10:10, во время утреннего максимума нагрузки, были отключены четыре ПС 500 кВ: Ногинск, Пахра, Калужская, Михайловская;
- В связи с выходом из синхронизма были отключены пять Московских ТЭЦ и пятнадцать питающих центров.

Авария оказала влияние на инфраструктуру не только города Москвы, но и на Московские районы. Была приостановлена работа муниципалитетов и финансового сектора, возникли сбои в коммуникации, приостановлена работа промышленных предприятий, невозможной стала работа подземного транспорта, задержаны или отменены маршруты наземного транспорта, не в полной мере функционировали медицинские учреждения и коммунальные службы.

Последствиями аварии стали:

- перевод на резервные источники питания муниципальных учреждений: Совета Федерации, Генерального штаба, командного пункта систем сигнализации ракетного нападения;
- прекращена работа банков - прекращена транзакция по банковским картам, остановлена работа банкоматов, были смещены выплаты платежей;
- приостановлена работа участников валютных рынков;
- снизилась скорость доступа к сети интернет, был отключён узел обмена интернет-трафиком, возникли сбои с мобильной и телефонной связью;
- понесли убытки торговые сети и крупная промышленность;

- остановлена работа метрополитена, отключены светофоры, вызвав транспортный коллапс, остановлено движение поездов, возникли проблемы с авиаперевозками;
- возникла чрезвычайная ситуация во многих объектах здравоохранения;
- остановлена работа водонапорных и насосных станций;
- прервано электроснабжение около 3 млн. человек;
- по оценкам экспертов ущерб составляет 1.708 млрд. руб. для Москвы, 503.94 млн. руб. для Московской области, 436.8 млн. руб. для Тульской области.

Для расследования причин аварии была создана комиссия РАО ЕЭС, по результатам работы которой было установлено, что причиной аварии стало: технический и моральный износ электрооборудования, повышенная нагрузка, обусловленная жарой, некомпетентность руководства и обслуживающего персонала. Были возбуждены уголовные дела по статье халатность и злоупотребление полномочиями.

После инцидента ФСК ЕЭС инициировала программу «Московское кольцо», программой которой являлось реконструкция и переоснащение ПС Чагино, Очаково, Бескудниково, Западная. Работа над программой была завершена в 2009 году [2].

Авария в Санкт-Петербурге

20 августа 2010 года в Санкт-Петербурге произошла авария, в результате которой север и часть города (общей площадью 40% от всего города) и часть Ленинградской области остались без электроснабжения. Отключение произошло в 18:37 местного времени.

Причиной аварии стал технологический сбой ДЗШ на подстанции 330 кВ «Восточная», в результате чего произошло обесточивание шести секций шин 330 кВ. Сбой произошел в результате повреждения контрольного кабе-

ля, что привело к наложению фазы переменного напряжения 0.23 кВ на шины управления постоянного тока главного щита управления, повредились микроэлектронные компоненты ДЗШ-330 [3].

Последствиями аварии стало:

- отключение четырёх городских ТЭЦ: Северная, Выборгская, Центральная и Правобережная;
- прекращено движение более двух десятков электропоездов, были задержаны 6 поездов;
- обесточено метро;
- прекращено электроснабжение девятнадцати медицинских учреждений;
- отключилась система подачи воды;
- без электроснабжения осталось 2.2 млн. жителей Санкт-Петербурга, 350 тыс. человек Ленинградской области суммарной мощностью 1.46 ГВт.

В 19:30 местного времени начаты работы по восстановлению электроснабжения в городе и области.

Авария на Дальнем Востоке.

Первого августа 2017 года в 20:07 по местному времени произошла системная авария на территории Дальнего Востока. Причиной аварии стало КЗ на магистральных сетях 220 кВ Хабаровского края. В ходе развития аварии были отключены населённые пункты Амурской области, Хабаровского края, Еврейской автономной области, Приморья, Якутии, Забайкалья [4].

Хронология развития событий:

- первого августа в 20:07 по местному времени в результате КЗ были отключены пять ЛЭП напряжением 220 кВ и 500 кВ: Бурейская ГЭС - Амурская, Бурейская ГЭС - Хабаровская, Хабаровская - Волочаевка тяговая, Хабаровская - Левобережная; межгосударственная ВЛ Амурская - Хэйхэ;

- по причине ремонта линий 500 кВ Хабаровская - Хехцир-2 и Хабаровская - Комсомольская произошло разделение Объединенной энергосистемы Востока на две изолированные части;
- в результате действий противоаварийной автоматики отключились пять из шести агрегатов на Бурейской ГЭС, один находился на плановом ремонте;
- на Зейской ГЭС отключился агрегат №2 мощностью 225 МВт. Действиями персонала были выведены из работы ещё два энергоблока. Итоговая мощность, выдаваемая Зейской ГЭС, снизилась с 500 до 240 МВт;
- полностью остановили свою работу Благовещенская ТЭЦ, Райчихинская ГРЭС, Нерюнгринская ГРЭС, Приморская ГРЭС;
- из-за срабатывания противоаварийной защиты были отключены три ПС в Забайкалье: Чара, Семиозёрный, Амазар;
- в 20:24 был запущен первый агрегат Бурейской ГЭС, в 20:25 - третий, в 21:37 - шестой;
- в 21:38 введена в работу ВЛ участка Бурейская ГЭС - Хабаровская;
- в 22:14 была включена ВЛ участка Бурейская ГЭС - Свободный;
- в 22:33 восстановлен экспорт мощности в Китай.

Последствия аварии:

- отключение электроснабжения Благовещенского района, Хабаровского края, Еврейской автономной области. Без электроэнергии осталось множество населённых пунктов: Райчихинск, Тамбовск, Тында, Зея, Архара, Серышево, Иваново, Свободный, Магдагачи и др.;
- задержано отправление восьми пассажирских и пригородных поездов;

- суммарная мощность нагрузки отключённых потребителей составляет 1,250 МВт, из них: 500 МВт - Приамурье, 450 МВт - Приморье, 300 МВт - Хабаровский край;
- потребители Забайкальского края недополучили около 1.7 МВт мощности;
- недоотпуск мощности в Китай составил 477 МВт;
- согласно данным МЧС, без энергоснабжения на Дальнем Востоке осталось около 600 тыс. чел.

Ростехнадзор создал комиссию, цель которой - расследовать причины возникновения аварии. По результатам её работы выявлено, что сбой произошёл по причине КЗ на магистральных сетях 220 кВ Хабаровского края. Данная авария стала шестой в энергосистеме РФ в 2017 году. После срабатывания систем противоаварийной автоматики энергетикам удаётся стабилизировать ситуацию, однако аварии преимущественно имеют каскадный характер, основной причиной которых - перегрузка ЛЭП [5].

Авария в городе Невинномысск.

18 января 2018 года в результате возгорания кабеля произошла авария в городе Невинномысск, Ставропольского края. Причиной аварии стало КЗ кабеля между Невинномысской ГРЭС и химическим предприятием «Невинномысский Азот». Авария произошла в 14:30 местного времени [6].

Последствия аварии:

- обесточены несколько подразделений предприятия «Невинномысский Азот»;
- вследствие обесточивания цеха биохимочистки предприятия было перекрыто водоснабжение города;
- ущерб от простоя оценивается в 400 млн. рублей.

Энергоснабжение восстановлено по резервным ЛЭП в 15:30.

Авария в г. Барнаул.

17 февраля 2011 года в городе Барнаул, Алтайского края, произошла авария на ЛЭП в 18:13 по местному времени. Авария произошла на участке 110 кВ ТЭЦ-2 - ТЭЦ-3.

Последствиями аварии стало:

- отключение электроснабжения в районах: Ленинский, Индустриальный, Октябрьский, Железнодорожный;
- отключение отопления и водоснабжения;
- отключение электроснабжения в шести медицинских учреждениях, нескольких десятках школ;
- остановка работы электротранспорта;
- увеличение числа ДТП;
- без электроэнергии осталось более 100 тыс. человек.

Для восстановления электроснабжения, ввиду неуспешного АПВ повреждённого участка, была выведена из планового ремонта параллельная цепь аварийного участка. Подача электроэнергии полностью восстановлена в 23:16 по местному времени [7].

1.3 Анализ аварий, вызванных повреждением изоляторов

Наиболее крупные аварийные ситуации в работе энергосистемы России, причинами которых является дефект изоляторов, - авария в Свердловской области 2016 года и авария в Приморском крае 2018 года.

Авария на Рефтинской ГРЭС.

В Свердловской области авария произошла на Рефтинской ГРЭС. Причиной её возникновения стало разрушение изоляторов на ОРУ 220 кВ. В результате сработали технологические защиты оборудования, связанные с выдчей электроэнергии, отключив электроагрегаты. Основное оборудование и аппараты электрической станции остались в работоспособном состоянии.

По данным Минэнерго России, так же в результате действий защит были отключены несколько высоковольтных линий электропередачи: «Рефтинская ГРЭС - Тагил», «Южная - Рефтинская ГРЭС», «Тюмень - Нелым», «Тю-

мень - Луговая», «Анна - Рефтинская ГРЭС», «Тобольская - Кутарбитка», «Кротово - Татарка», «Сотник - Тавда», «Сотник - МДФ». Из них с успешным автоматическим повторным включением: «Рефтинская ГРЭС - Тагил», «Южная - Рефтинская ГРЭС», с неуспешным - «Тобольская - Кутарбитка», «Кротово - Татарка», «Сотник - Тавда», «Сотник - МДФ». Причиной отключения ЛЭП является разрушение конденсатора связи участка «Анна - Рефтинская ГРЭС» с выбросом масла и возгоранием.

Результатом аварийной работы стал перерыв электроснабжения, как у жителей Свердловской области, так и жителей Тюменской и Челябинской областей, в меньшей мере Пермского края. Тюменская энергосистема выделялась на изолированную работу с избытком мощности с частотой 50.469 Гц. Забайкальская, Томская, Красноярская, Хакасская, Иркутская, Бурятская и часть Кузбасской энергосистемы выделились на изолированную работу с дефицитом мощности и снижением частоты до 49.63 Гц [8]. Суммарный дефицит мощности составил 5.8 ГВт.

Авария на ПС "Гранит".

20 ноября 2018 года в результате повреждения опорного изолятора фазы «А» первой системы шин 6 кВ ПС «Гранит» (филиала АО «ДРСК» - «Приморские электрические сети») был отключён выключатель В-6-Т1. В результате работы защит была отключена система шин 6 кВ с последующим её выводом в ремонт. Часть потребителей электроэнергии, около 20,100 человек суммарной электрической мощностью потребления 7 МВт, г. Уссурийск остались без электроснабжения. В течение 3.5 часов восстановлена нормальная схема электроснабжения [9].

В итоге проведения выездных проверок с целью оценки технического состояния оборудования, Минэнерго России удалось выявить следующие замечания:

- не в полном объеме планируется устранение выявленных неисправностей и дефектов ВЛ в период капитальных ремонтов;

- нарушение периодичности планирования и проведения ремонтов коммутационных аппаратов и ВЛ;
- не расчищены от ДКР площадки, отведенные под опоры ВЛ;
- наличие на краю просек деревьев, угрожающих падением на провода в пролетах опор ВЛ;
- недостаточная ширина просек в пролетах опор ВЛ;
- не в полном объеме выполнены требования НТД по эксплуатации фундаментов и элементов опор ВЛ (наличие обрыва заземляющих спусков контуров заземления опор; повреждения фундаментов опор; трещины и раковины на железобетонных опорах, дефекты изоляторов и т.д.);
- в пролетах опор ВЛ 110 кВ высота ДКР под проводами ВЛ превышает 4 м;
- опоры ВЛ 110 кВ имеют наклон вдоль оси ВЛ сверх допустимых норм;
- неисправны устройства охлаждения на трансформаторах ПС;
- в неисправном состоянии находятся блокировки разъединителей на подстанциях;
- не выполнены требования НТД к объему испытаний и измерений при ремонтах трансформаторов и коммутационных аппаратов на ПС;
- не оборудованы быстродействующей защитой от дуговых коротких замыканий КРУ 6-10 кВ ПС [10].

Авария в г. Касли.

13 июля разряд молнии попал в трансформаторную подстанцию в Каслинском районе Челябинской области, что привело к разрушению опорных изоляторов трансформатора. В результате было частично отключено электроснабжение на территории города Касли. В зону отключения попала Каслинская горбольница, в которой находилось 80 человек, а также жилой сектор, где проживают около 3 тысяч человек.

В количестве аварий учтены аварии, произошедшие как по причинам, связанным с недостатками в технологической деятельности компании, так и по причинам, независящим от деятельности компаний (воздействия посторонних лиц и организаций, птиц и животных, сверхнормативных стихийных явлений и иных форс-мажорных обстоятельств).

Анализ аварийных режимов работы электрических сетей, вызванных дефектом изоляторов, выявил возможность возникновения каскадного характера развития, результатом которого может быть повреждение силового оборудования или электрических аппаратов, существенный недоотпуск электроэнергии и, как следствие, экономический ущерб для сетевой организации.

2 АНАЛИЗ ТИПОВ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЙ

Неотъемлемым оборудованием при передаче электрической энергии является силовой провод. С целью исключения попадания потенциала на несущие конструкции используют изоляторы. Электрический изолятор представляет собой армирующую деталь и поверхность диэлектрика - металлическая конструкция служит креплением изолятора к несущей конструкции, диэлектрик предназначен для отделения несущей конструкции от проводящего элемента.

Каждый тип изолятора имеет свои особенности, условия эксплуатации, технические и электрические характеристики. Согласно стандарту классификации изоляторов, закреплённому ГОСТ 270020-86 «Изоляторы. Классификация и условные обозначения», изоляторы имеют классификацию, приведённую в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация изоляторов

по назначению	стационарные
	линейные
	аппаратные
по конструктивным признакам	проходные
	опорные
	подвесные
по условиям работы	изоляторы для работы на открытом воздухе
	изоляторы для работы в помещении
по материалу	фарфоровые
	стеклянные
	полимерные

2.1 Классификация изоляторов

2.1.1 Классификация изоляторов по назначению

В зависимости от назначения изоляторы делятся на: стационарные, аппаратные и линейные.

Стационарные изоляторы используют на электрических станциях и подстанциях для крепления токоведущих элементов или ошиновки. В свою очередь стационарные изоляторы по назначению разделяют на опорные и проходные. Опорные изоляторы служат для крепления шин в ячейках КРУ или несущих конструкций. Проходные изоляторы предназначены для возможности проведения токоведущих элементов сквозь стены.

Аппаратные изоляторы применяют для электрического отделения токоведущих частей от земли или фаз в закрытых распределительных устройствах или отдельных частях электрических аппаратов. На рисунке 3 представлен пример применения аппаратного изолятора.

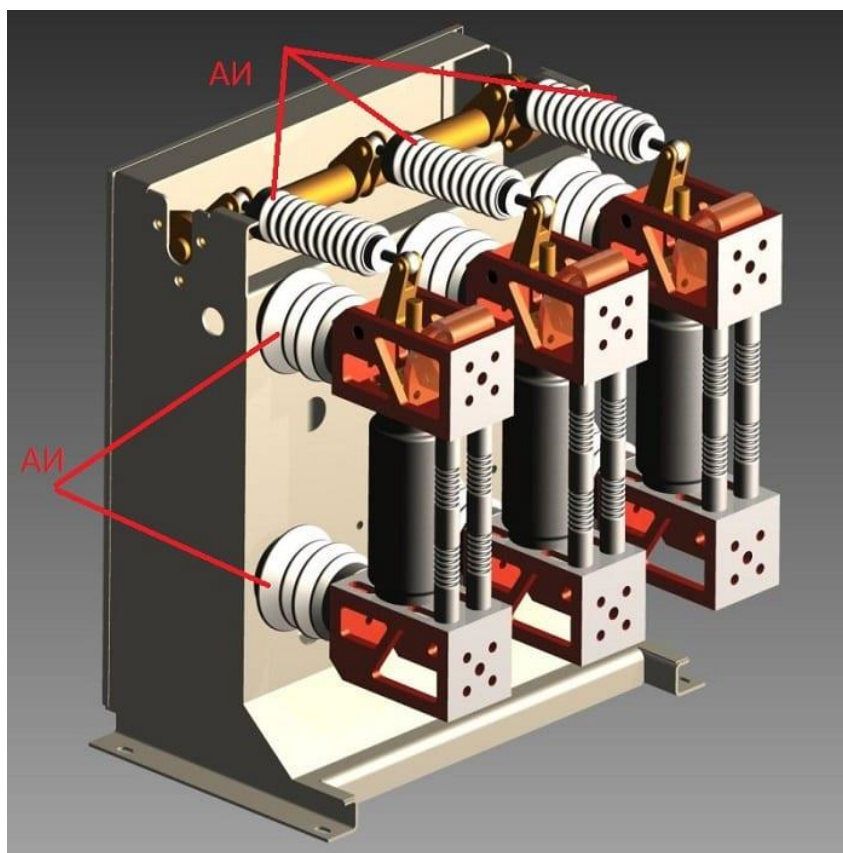


Рисунок 3 – Пример применения аппаратного изолятора

Линейные изоляторы предназначены для наружного крепления ЛЭП или ошиновки ОРУ. Характерной особенностью линейных изоляторов является наличие широких рёбер, цель которых - увеличение пути поверхностного пробоя в случае выпадения осадков.

2.1.2 Классификация изоляторов по конструктивным признакам

Конструкцию и размеры электрических изоляторов рассчитывают, исходя из эксплуатационных требований по механической нагрузке, номинального напряжения установки и климатической зоне эксплуатации.

Для изоляторов, место эксплуатации которых подразумевает воздействие атмосферных явлений (загрязнение, осадки), увеличена величина напряжения пробоя, для достижения которой поверхность изолятора выполняется сложной формы с целью увеличения длины перекрытия. Линии электропередачи напряжением 6-35 кВ исполняют с применением штыревых изоляторов, для линий высокого класса напряжения используют подвесные изоляторы.

Для установки электрических аппаратов в открытых распределительных устройствах, крепления шин, применяют опорные изоляторы штыревого типа, собирая их в колонки. Проходные изоляторы предназначены для возможности проведения токоведущих элементов сквозь поверхность с нулевым потенциалом.

По конструктивным признакам изоляторы имеют следующую классификацию:

- 1) Опорные
 - стержневые
 - штыревые
- 2) Подвесные
 - стержневого типа
 - тарельчатого типа
- 3) Проходные

Опорные изоляторы стержневого типа предназначены для эксплуатации в закрытых и открытых распределительных устройствах, для крепления к ячейкам КСО токоведущих шин или контактных деталей. При использовании изоляторов для внутренней установки, его конструкция представляет собой фарфоровое тело с армированным металлическим креплением. Арматура такого изолятора так же выполняет функцию экрана, назначение которого - снижение напряжённости поля у края электрода. Тело изолятора имеет ребристую поверхность, обусловленную развитием разряда под углом к силовым линиям поля, в случае пробоя. Подобная конструкция арматуры и тела изолятора позволяет существенно увеличить величину разрядного напряжения. В случае эксплуатации изолятора на открытом воздухе, величина мокроразрядного напряжения повышается. При их эксплуатации под напряжением 35-110 кВ форма представляет собой цельный фарфоровый стержень, армированный чугуном фланцем [12-14].

Опорные изоляторы штыревого типа используют для наружного применения в условиях необходимости высокой механической прочности. Конструктивно они представляют собой фарфоровую или стеклянную изолирующую поверхность, к которой прикреплен фланцевый штифт. Изолирующая поверхность может быть выполнена одноэлементной (6-10 кВ) или двух-трёх элементной (35 кВ).

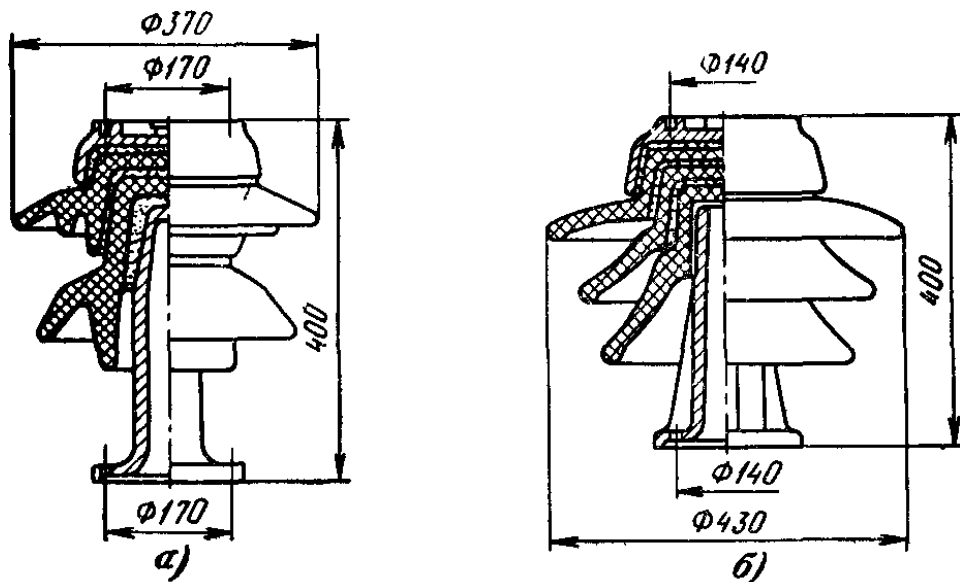


Рисунок 4 – Исполнение опорно-штыревого изолятора

Подвесные изоляторы стержневого типа конструктивно выполнены из ребристого изолирующего материала, армированного металлическими шапками с обоих концов. Материал исполнения преимущественно - электротехнический фарфор. В настоящее время им на замену производят стержневые изоляторы, выполненные из полимера, ввиду низкой механической прочности фарфора.

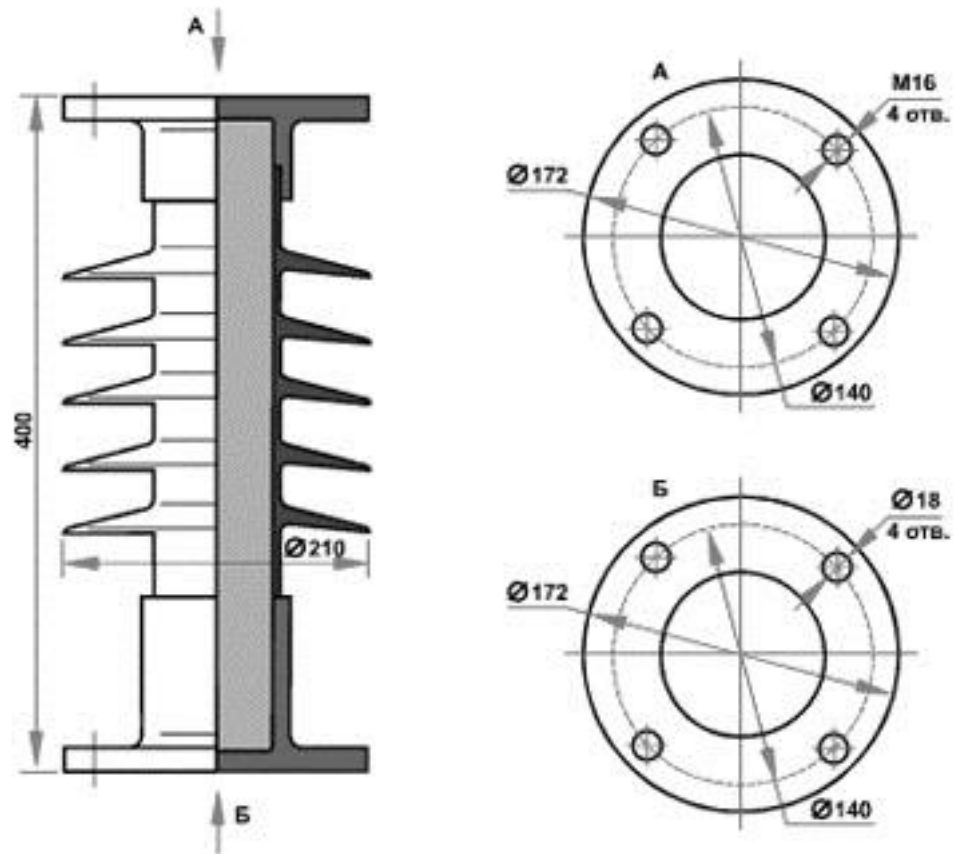


Рисунок 5 – Исполнение подвесного изолятора штыревого типа

Подвесные изоляторы тарельчатого типа применяют для эксплуатации ЛЭП напряжением 35 кВ и выше. Конструкция такого изолятора - металлическая арматура с закреплённой на ней изолирующей поверхностью, колпачок и стержень. Необходимые эксплуатационные характеристики получают путём собрания таких изоляторов в гирлянду. При сборке гирлянды головку стержня одного изолятора вставляют в гнездо на крышке второго и фиксируют стержень с помощью замка. Приведённая технология сборки наделяет гирлянду высокой механической прочностью [18,22,26].

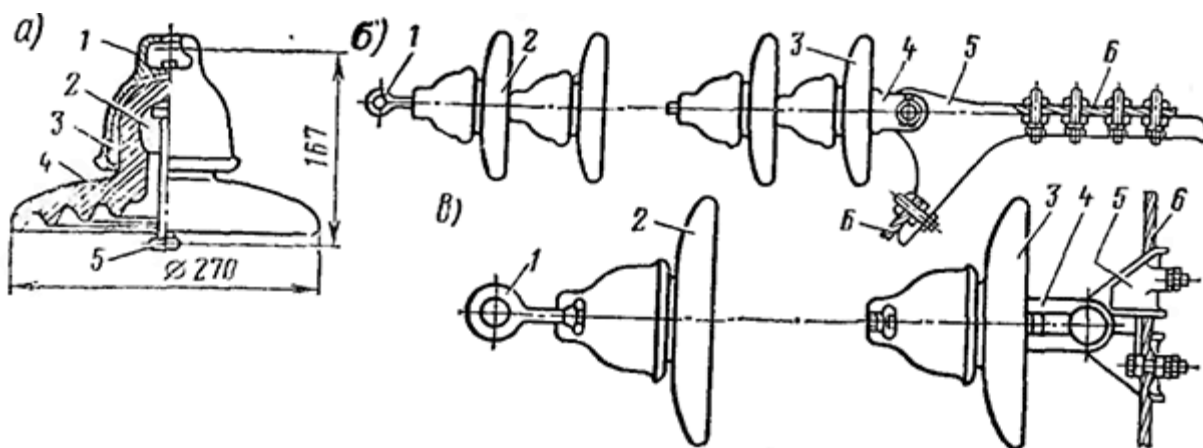


Рисунок 6 – Конструктивное исполнение подвесных тарельчатых изоляторов

При изготовлении изолятора внутреннюю и внешнюю сторону изолирующей поверхности покрывают фарфоровой крошкой, которая при обжиге спаивается с фарфором с целью повышения прочности сцепления цементной связки с фарфором. С целью снижения реакции цементной связки на температурные воздействия все элементы изолятора, контактирующие с цементом, покрывают эластичными пятнами. В стеклянном исполнении подвесные изоляторы имеют опорные выступы для оптимального распределения механических реакций в гирлянде. Для снижения времени воздействия осадков верхняя часть тарелки имеет гладкую поверхность, выполненную под углом 5-10° к горизонтали. Нижняя часть тарелки имеет ребристую поверхность для увеличения пути тока утечки [30-34].

При эксплуатации подвесных изоляторов при номинальном напряжении 35 кВ и выше их собирают в гирлянду. Число изоляторов в гирлянде зависит от класса номинального напряжения.

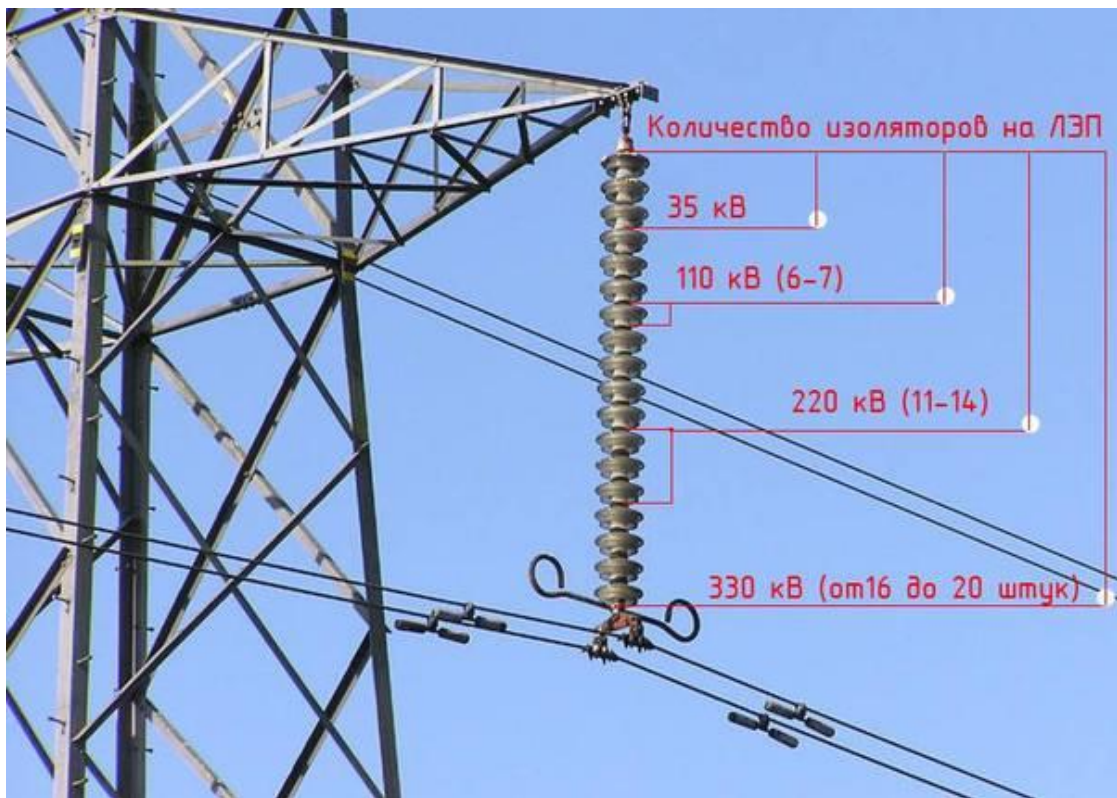


Рисунок 7 – Количество изоляторов в гирлянде

При эксплуатации в различных климатических условиях подвесные изоляторы тарельчатого типа имеют следующую классификацию:

1) Гряззостойкие изоляторы

- Применяют в условиях морского климата, вблизи районов горнодобычи, промышленных предприятий, районов агрессивной климатической среды.

2) Изоляторы обычной конструкции

- Применяют в условиях интенсивного загрязнения воздуха, оптимальные электрические характеристики достигают увеличением числа единиц изоляторов в гирлянде.

3) Изоляторы со сферическими и коническими изолирующими частями

- Применяют для эксплуатации в районах с сильными ветрами, в условиях пустыни или солончаков. Коническая или сферическая поверхность изолятора позволяет уменьшить механи-

ческую нагрузку, обусловленную ветром, очистить поверхность изолятора от загрязнения.

Проходные изоляторы конструктивно представляет собой полый фарфоровый элемент, внутри которого проходит фланцевая шина для механического крепления изолятора к силовому элементу.

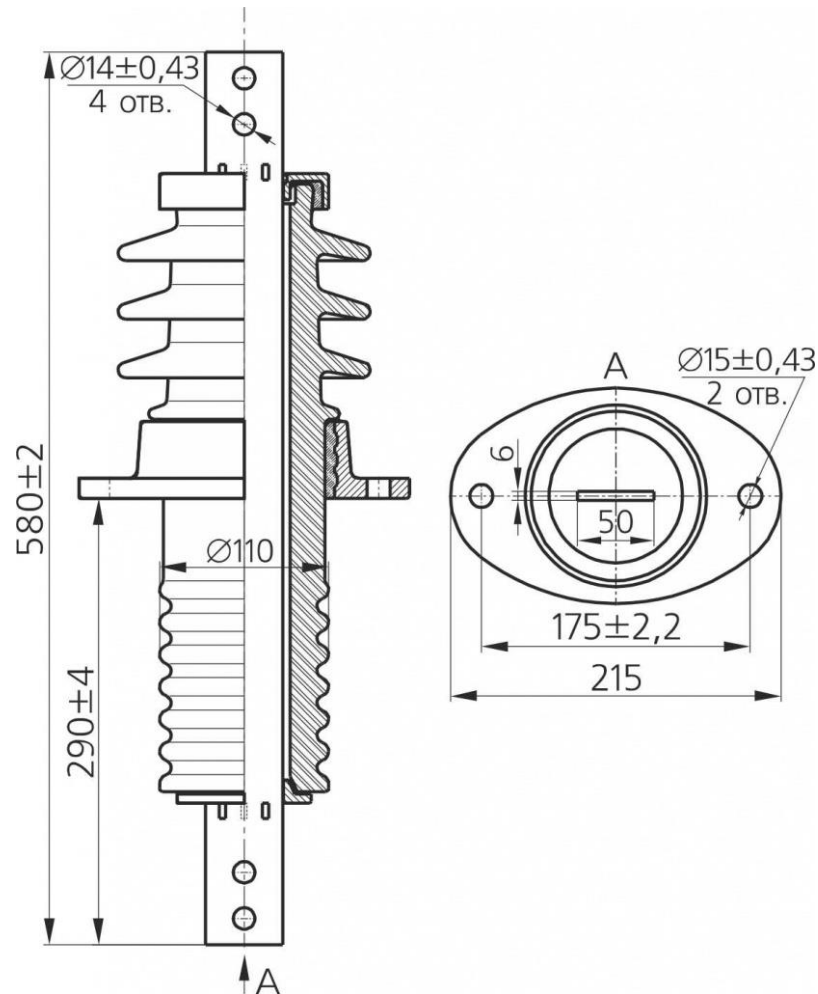


Рисунок 8 – Конструкция проходного изолятора

Проходные изоляторы нашли применение при изоляции токоведущих частей электрических проводников сквозь преграды или заземлённые участки, стены, потолки, в ЗРУ или электрических аппаратах.

2.1.3 Классификация изоляторов по материалу

По материалу изготовления выделяют следующие виды изоляторов: стеклянные изоляторы, полимерные, изоляторы с фарфоровым корпусом.

Фарфоровые изоляторы имеют фарфоровый корпус конической или цилиндрической формы. Изготавливаются изоляторы из электротехнического фарфора с нанесением на керамическую поверхность слоя глазури. Впоследствии изделие обжигают в печах. Преимущественно изоляторы имеют белый цвет. К достоинствам фарфоровых изоляторов относится способность выдерживать большие механические нагрузки, высокие диэлектрические свойства, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и солнечной радиации, что делает их привлекательными для эксплуатации вне помещений. К недостаткам следует отнести хрупкость при динамических воздействиях, что приводит к необходимости проверки целостности, очистке поверхности от загрязнений (пыль, масло), что требует отключения установки от электрической сети. Внешний вид фарфоровых изоляторов отображён на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид фарфоровых изоляторов

Стекланные изоляторы изготавливают из особого закалённого стекла. Преимуществом стекланных изоляторов по отношению к фарфоровым является больший срок эксплуатации, меньшие габаритные размеры и вес, меньшая подверженность к воздействию агрессивных реагентов, возможность полной автоматизации изготовления. Недостатками является низкая механи-

ческая прочность, ввиду чего при больших динамических воздействиях изолятор полностью разрушается. Поэтому к достоинствам можно так же отнести возможность визуального контроля целостности изоляторов, что возможно осуществить без отключения электроустановки. Разрушение изолятора в гирлянде не является критическим состоянием, так как крепление провода к опоре обеспечивает неповреждённая часть гирлянды - арматура. Внешний вид стеклянных изоляторов отображён на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид стеклянных изоляторов

Для производства полимерных изоляторов используют особые пластические массы, предназначенные для изоляции и механического крепления токоведущих частей в электрических установках, монтажа токоведущих шин распределительных механизмов электростанций. Непрерывный процесс разложения полимеров на мономеры приводит к постоянному изменению химических и физических свойств изоляторов. Полимерные изоляторы преимущественно используют в помещении, реже на улице. Отличительной особенностью от фарфоровых изоляторов является меньшая подверженность загрязнению, большее удельное сопротивление изолятора. Ограничение использования на улице обусловлено старением изоляции ввиду длительного пребы-

вания материала под действием ультрафиолетового излучения, ввиду чего распадается его структура, снижаются механические и электрические характеристики. Внешний вид полимерных изоляторов приведён на рисунке 11.



Рисунок 11 – Внешний вид полимерных изоляторов

По настоящее время выделяют три поколения полимерных изоляторов, обусловленных технологией изготовления:

- 1) Полимерные изоляторы I поколения изготавливали по технологии ручной порёберной склейке оболочки полимера на стеклопластиковый стержень. При пробое или механическом разрушении стеклопластикового стержня происходила разгерметизация его клеевых швов, что приводило к увлажнению изолятора [35].
- 2) У изоляторов II поколения был осуществлён переход на цельнолитую кремнийорганическую защитную оболочку, что сделало изоляторы устойчивыми к воздействию ультрафиолетового излучения и другим атмосферным факторам. Герметизация стержня в оконцеватель по-прежнему осуществлялась по-

рёберной склейкой, что сохраняло проблему внутренней герметизации.

- 3) Для полимерных изоляторов III поколения произведена защита входа стержня защитной оболочкой, обладающей высокой адгезией к оконцевателю и стержню изолятора, что позволило повысить надёжность изоляторов этого поколения.

Каждый тип изолятора имеет свои преимущества и недостатки.

Для стеклянных изоляторов преимуществами являются:

- визуальная индикация разрушения изолятора в гирлянде;
- возможность полной автоматизации процесса изготовления;
- неизменность физических и химических свойств в течение эксплуатации;
- неизменность электрических свойств и механической прочности с течением времени;
- отсутствие деформации;
- устойчивость материала к воздействию ультрафиолетовых лучей и солнечной радиации, агрессивным химическим средам;
- отсутствие водопроницаемости;
- отсутствие горючести;
- высокие диэлектрические свойства.

К недостаткам стеклянных изоляторов следует отнести:

- значительная масса;
- хрупкость эксплуатации;
- хрупкость транспортировки;
- уязвимость к вандализму;
- долгий процесс производства.

Преимущества фарфоровых изоляторов:

- неизменность физических и химических свойств в течение эксплуатации;

- неизменность электрических свойств и механической прочности с течением времени;
- отсутствие деформации;
- устойчивость материала к воздействию ультрафиолетовых лучей и солнечной радиации, агрессивным химическим средам;
- отсутствие водопроницаемости;
- отсутствие горючести;
- высокие диэлектрические свойства.

Недостатками фарфоровых изоляторов являются:

- значительная масса;
- хрупкость эксплуатации;
- уязвимость к актам вандализма;
- высокое значение тангенса угла диэлектрических потерь.

Достоинства полимерных изоляторов:

- устойчивость к вандализму;
- высокая механическая прочность;
- высокая величина напряжения пробоя;
- неподверженность к атмосферным загрязнениям;
- простота и удобство монтажа;
- незначительная масса;
- низкая стоимость производства.

Недостатки полимерных изоляторов:

- чувствительность материала к воздействию ультрафиолетовых лучей и солнечной радиации;
- низкая термическая стойкость;
- снижение механических и электрических характеристик в течение срока эксплуатации;
- высокая степень водопроницаемости;
- пожароопасность;

- высокая вероятность пробоя.

2.2 Технические характеристики изоляторов

Для электрических изоляторов, согласно требованиям нормативных документов, основными техническими характеристиками являются: напряжение пробоя, сухоразрядное напряжение, мокроразрядное напряжение, механическая прочность, термическая устойчивость.

Напряжением пробоя изолятора называют такую величину электрического напряжения, приложение к изолятору которой приведёт к возникновению пробоя [36].

Под сухоразрядным напряжением подразумевают такую величину напряжения, значение которой приведёт к электрическому разряду в изоляторе при условии сухого состояния его поверхности.



Рисунок 12 – Пробой изолятора при сухоразрядном напряжении

Мокроразрядное напряжение - такая величина напряжения, по достижении которой произойдёт пробой в изоляторе при условии влажного состояния его поверхности, обусловленное воздействием осадков. При оценке величины мокроразрядного напряжения принимают такой вариант осадков, когда их направление по отношению к изолятору достигает угла 45° - максимальное обтекание поверхности изолятора осадками и, как следствие, мини-

мальное сопротивление электрическому току. Величина мокроразрядного напряжения всегда ниже величины сухоразрядного напряжения.

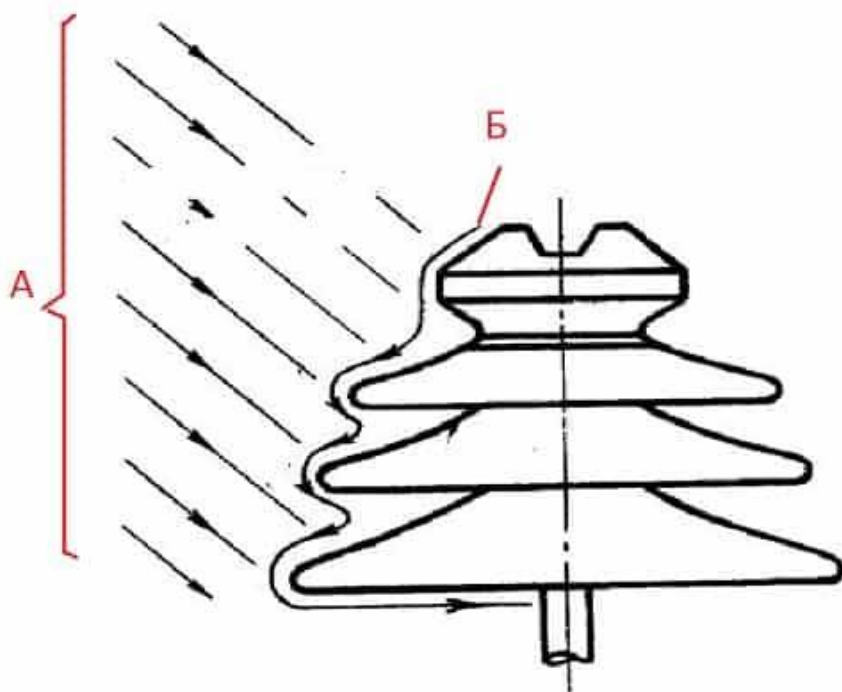


Рисунок 13 – Схема оценки мокроразрядного напряжения изолятора

Механическая прочность изолятора - предел его прочности на изгиб, разрыв или срез головки. При проверке изолятора на механическую прочность его конструкцию жёстко закрепляют, прикладывают к ней динамическое усилие до момента нарушения целостности аппарата.

Величину термической стойкости электрических изоляторов проводят для оценки их работоспособности при КЗ. Проверка изоляторов на термическую стойкость проводят путём резкого нагревания и охлаждения поверхности изолятора в течение двух-трёх циклов с последующим приложением электрического напряжением к испытуемому аппарату.

Обязательной испытательной процедурой проверки изоляторов является проверка их на напряжения перекрытия. Проверке на термические и механические воздействия подвергается только часть изоляторов (около 1% партии), принятых к установке. Для подвесных изоляторов обязательной является

ся их проверка на механическую нагрузку, что обеспечит достаточный уровень надёжности электрической сети.

Таблица 7 – Технические характеристики изоляторов

Параметр	Материал		
	Стекло	Фарфор	Композит
Диэлектрическая проницаемость, Ф/м	7.20	7.00	3.52
Удельное объёмное сопротивление, Ом/м	10^{14}	10^{11}	$5.5 \cdot 10^{12}$
Удельное поверхностное сопротивление, Ом	10^{14}	10^9	10^{11}
Тангенс угла диэлектрических потерь при $t=20^\circ\text{C}$	0.02700	0.02000	0.00125
Теплопроводность, Вт/(м·С)	0.92	1.00-1.20	1.100
Теплоёмкость, Дж/(кг·К)	1000	1350	1350
Электрическая прочность, кВ/мм	48	25-30	21
Плотность материала, кг/м ³	2500	2400	1350
Предел прочности на разрыв, Мпа	90	90	5

2.3 Дефекты изоляторов

Одним из основных аспектов эксплуатации электротехнического оборудования является оценка его технического состояния. Задача оценки - выявление исправности или дефектов оборудования. Исправным признают оборудование, техническое состояние которого соответствует нормативным документам, в противном случае оборудование признают неисправным. Дефектом называют отдельное несоответствие элемента заявленным характеристикам. Изъяны могут возникнуть как в процессе производства оборудования, так и в течение его эксплуатации: монтаже, настройке, испытаниях, ремонте.

На практике различают четыре основных состояния оборудования:

1. Оборудование исправно - отсутствие дефектов.
2. Наличие незначительного дефекта - изъян не оказывает существенно влияния на характеристики элемента.
3. Развитый дефект - высокая степень влияния изъяна на заявленные характеристики элемента.
4. Аварийное состояние оборудования - недопустима эксплуатация элемента.

Для каждого материала изоляторов существуют индивидуальные причины возникновения повреждений и критерии оценки их технического состояния.

2.3.1 Оценка состояние фарфоровых изоляторов

Возникновение неисправности фарфоровых изоляторов происходит по вине пробоя, неправильного обжига, оплавления или поломки его частей. Мероприятиями контроля таких причин являются: верный выбор марки изолятора, его типа, количества элементов в гирлянде; использование гидрофобных смазок, своевременный осмотр.

Так же существуют дефекты, обусловленные человеческим фактором: возникновение трещин или сколов, разрушение элементов, обусловленное попаданием в элемент камней, выстрелов, иных механических воздействий.

Мероприятия сигнализации таких повреждений - периодический осмотр и своевременная замена.

Для оценки технического состояния выделяют дефекты, типичные для изоляторов разных конструкции. Например, для опорно-стержневых изоляторов наиболее распространённым повреждением является пористость, обусловленная засорениями или попаданием посторонних примесей. При образовании зон пористости появляется вероятность впитывания изолятором влаги из окружающей среды, которые в связке с изменением температуры могут привести к разрушению изолятора. Процесс увеличения зоны деформации может привести к излому фарфора внутри фланца, образованию магистральных трещин, разгерметизации в местах ввода силовых элементов и, в конечном итоге, выбросам продуктов распада неорганических веществ.

Снижение вероятности образования дефектов опорно-стержневых изоляторов добиваются следующими способами:

- повышением качества производства элементов за счёт внедрения технологий последнего поколения;
- правильной технической эксплуатацией и своевременным обслуживанием.

2.3.2 Оценка состояние стеклянных изоляторов

Образование дефектов в стеклянных изоляторах обусловлено:

- низким качеством изоляционных конструкций ввиду применения сырья низкого качества или нарушения технологического процесса при производстве;
- наличием примесей.

2.3.3 Оценка состояние полимерных изоляторов

Для полимерных изоляторов выделяют три основных вида повреждений, обусловленных эксплуатацией:

- возникновение эрозии оболочки вследствие образования трека на поверхности защитной оболочки. Причина возникновения эрозии - несоответствие типа полимерного изолятора климатическим

условиям эксплуатации (образования поверхностных разрядов в районах с сильным загрязнением или влажностью). При эксплуатации полимерных изоляторов в районах с умеренным климатом подобный вид повреждений не наблюдается;

- образование трека на границе участка стержень-оболочка. Образование трека обусловлено впитыванием влаги поверхностью изолятора. Основной причиной такого дефекта в большинстве случаев является повреждение конструкции: низкий уровень герметичности раздела оболочка - металлическая арматура, низкий уровень адгезии оболочки к стеклопластиковому стержню. Также низкий уровень герметичности оболочки может быть обусловлен её повреждением при транспортировке или монтаже. Приведённый вид повреждения является самым распространённым для эксплуатации;
- хрупкий излом - повреждение или разрушение стекловолокна, обусловленное действием кислот, образованных частичными разрядами в совокупности с влагой. Приведённый вид повреждения возникает в результате снижения герметичности сред оболочка - металл.

В меньшей степени распространёнными дефектами полимерных изоляторов являются коронные разряды. Их возникновение не оказывает существенного влияния на изоляционные характеристики оборудования, однако может являться источником радиопомех. Возникновение коронных разрядов обусловлено отсутствием экранирования или неверным его выбором.

На основании анализа, приведённом в настоящей главе, получено, что основными дефектами полимерных изоляторов могут быть: возникновение эрозии его оболочки, образование трека на границе стержень-оболочка, повреждение или разрушение стекловолокна. Основные причины возникновения дефектов - неверный выбор типа изолятора, перенапряжения, агрессивные климатические условия.

3 АКТУАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯТОРОВ, СПОСОБЫ ИХ КОМБИНАЦИИ

С целью определения актуальной информации о техническом состоянии оборудования проводят его диагностику. Диагностика позволяет определить остаточный ресурс оборудования, срок эксплуатации, сигнализирует о необходимости проведения ремонтных работ или замене элемента. Так же своевременная диагностика снижает издержки на реновацию ввиду своевременного определения неисправности и снижает риск возникновения аварийных ситуаций.

В настоящее время одним из главных недостатков эксплуатации полимерных изоляторов является отсутствие точных методик оценки их технического состояния. Современные способы оценки не в полной мере позволяют соотнести измеренные параметры с наличием повреждений. Поэтому качественная оценка состояния полимерных изоляторов является одной из наиболее актуальных задач электроэнергетики.

3.1 Методы диагностики изоляторов, находящихся в эксплуатации

Актуальные способы выявления дефектов полимерных изоляторов условно разделяют на: контактные и бесконтактные, электрические и неэлектрические, звуковые, визуальные, комбинированные.

Контактные способы подразумевают непосредственный контакт контрольного устройства с диагностируемым элементом, что подвергает персонал серьёзной опасности при диагностике оборудования на высоте. Все контактные способы диагностики позволяют определить технические характеристики для электрооборудования промышленной частоты, измерить сопротивление изоляции, определить коэффициент поглощения, прирост ёмкости, измерить тангенс угла диэлектрических потерь. Контактные методы контроля не являются эффективными для текущего ремонта или диагностики ЛЭП. Испытания данным способом осуществляют для выборочного числа изоляторов, которые составляют 10% от суммарного числа исследуемой ЛЭП.

Неэлектрическими называют способы: акустической эмиссии, сквозного прозвучивания, виброакустический, метод возбуждения свободных колебаний.

Диагностика ёмкостно-частотным методом основана на свойстве увлажнения изоляции диэлектрика. При таком способе к исследуемому элементу прикладывают напряжение с частотой поля 8-10 Гц. Напряжение такой частоты приводит к изменению ориентирования диполей воды, измеряют ёмкость элемента. При снятии напряжения ориентирования диполей выравнивается. После к диэлектрику прикладывают напряжение промышленной частоты, при которой изолятор не проявляет абсорбционных свойств, определяют ёмкость элемента. Отношение ёмкостей при различных частотах приложенного напряжения позволяет определить влажность элемента. Изменение ёмкости изолятора обусловлено явлением абсорбции за счёт наличия ёмкости у диполей воды.

К бесконтактным методам относят методы косвенной диагностики, способные давать оценку технического состояния изоляторов, находящихся под нагрузкой. Способами такого метода могут быть: визуальный метод, ультрафиолетовый, инфракрасный.

Комбинированными называют методы, которые используют данные оптического, акустического, светового, теплового, ультразвукового анализа. Такие методы применяют при топографическом поиске дефектов, требуют значительного количества времени для анализа.

Наиболее распространённым способом контроля полимерных изоляторов является визуальный осмотр. Наблюдатель определяет дефекты корпуса исследуемого объекта, такие как: эрозия, дендриты, растрескивание, раскалывание, пулевые отверстия, увлажнения концевых заделок. Ввиду малых размеров повреждений наблюдателю рекомендуют использовать бинокль или высокомощный телескоп. Для достоверной оценки повреждений эксперту необходимо находиться поблизости испытуемого объекта - подняться на опору, использовать ковшовый грузовик, дрон.

3.1.1 Визуальный контроль

Визуальный осмотр в преобладающем большинстве случаев позволяет определить внешние неисправности объекта, однако в исключительных случаях помогает выявить и внутренние неисправности изолятора. При индикации повреждения торцевых уплотнений, или наличии развитых дендритов, изолятор определяют непригодным для эксплуатации и проводят его замену. Для получения достоверных результатов оценки внутреннего состояния испытуемого объекта наблюдатель должен обладать знаниями о конструкции изолятора, быть знаком с технологией его изготовления, конструкцией, свойствами материала.

Опыт проведения визуального осмотра показывает, что применения такого подхода позволяет выявить более половины возможных наружных повреждений полимерных изоляторов для аппаратов класса напряжения до 500 кВ. Эффективность такого способа можно повысить за счёт применения других способов контроля технического состояния.

3.1.2 Ультрафиолетовый контроль

Ультрафиолетовый контроль технического состояния производят для обнаружения поверхностного разряда на поверхности испытуемого элемента. Их наличие является индикатором начала эрозионных повреждений или дендритов на поверхности материала корпуса. В тёмное время суток поверхностные разряды могут быть обнаружены визуальным осмотром или с помощью прибора ночного видения. Однако большинство световых волн, излучаемых поверхностным разрядом, имеют длину волны порядка 300-400 нм, что выходит из области обнаружения при визуальном контроле или приборов ночного видения. Применение приборов ультрафиолетового контроля позволяет расширить диапазон индикации наличия поверхностных разрядов и, как следствие, своевременно выявить повреждение элемента. Современные приборы ультрафиолетового контроля имеют оптические фильтры, которые пропускают диапазон волн, включая солнечные блики. Наличие таких фильтров делает невозможным проведение ультрафиолетовой диагностики в светлое

время суток ввиду преобладания солнечного излучения над поверхностными разрядами, что является главным недостатком подобного вида контроля.

Менее подвержены попаданию солнечных бликов приборы, фильтры которых имеют полосу пропускания 240-280 нм, что является слепой зоной для солнечного излучения. Ввиду уменьшения полосы пропускания волн оптическим фильтром интенсивность света искрового разряда так же будет снижена, но снижение фона, обусловленного солнечным излучением, позволит сделать индикацию контрастной.

Применение ультрафиолетового способа диагностики показано на примере использовании дефектоскопа ФИЛИН-6. Данный прибор предназначен для дистанционного контроля технического состояния энергетического оборудования или электрических аппаратов, находящихся под нагрузкой (1). Прибор успешно применяют для эксплуатации в ряде энергосистем России (ОАО "МОСЭНЕРГО", ОАО "СВЕРДЛОВЭНЕРГО", ОАО "КУЗБАССЭНЕРГО", ОАО "НИЖНЕВАРТОСКНЕФТЕГАЗ"), а так же за рубежом (Австралия, Бразилия, Польша, Китай).

Метод диагностики заключается в определении наличия коронных или поверхностно-частичных зарядов, а так же их зависимости от приложенного напряжения и степени загрязнения поверхности диагностируемого элемента. ЭОД позволяет выявить:

- "нулевые" изоляторы в подвесной фарфоровой изоляции;
- источники короны и поверхностных частичных разрядов;
- микротрещины в опорно-стержневой изоляции;
- оценить поверхностную проводимость на изоляции.

Внешний вид устройства приведён на рисунке 14.



Рисунок 14 – ЭОД ФИЛИН-6

Преимущества данного типа дефектоскопа по сравнению с аналогичными моделями предыдущего поколения:

- увеличение устойчивости к фоновым засветкам;
- снижено влияние бликов на интенсивность излучения искровых разрядов;
- применение кварцевого объектива, прозрачного для ультрафиолетового излучения.

Принцип работы прибора проиллюстрирован на рисунке 15.

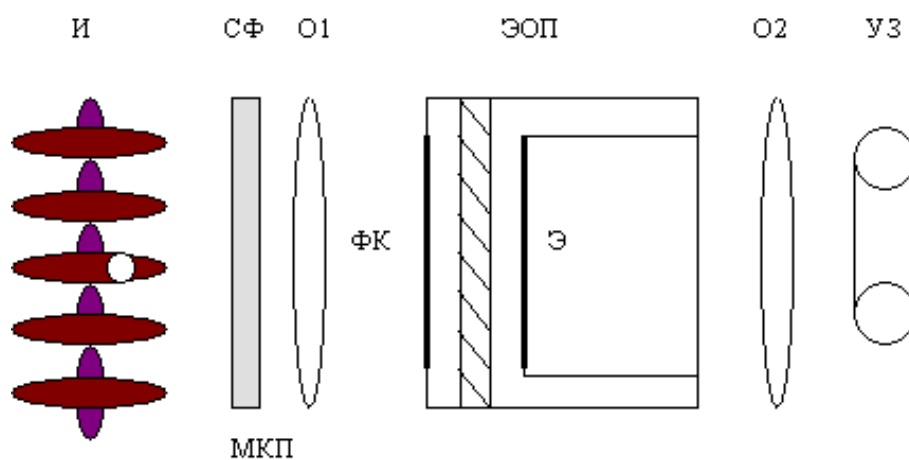


Рисунок 15 – Блок-схема работы ЭОД ФИЛИН-6

Оптические изображения изоляции (И), ПЧР и КР, проходя через светофильтр (СФ) с полосой пропускания в коротковолновой части оптического спектра, формируются входным объективом (О1) на фотокатоде (ФК) электронно-оптического усилителя света (ЭОП) с микроканальной пластиной (МКП). Оптические сигналы усиливаются более чем в 20000 раз. Их можно наблюдать на экране (Э) через окуляр (О2) или записывать каким-либо из подходящих устройств (УЗ).

Перед входным объективом можно также устанавливать специальный диспергирующий фильтр, для оценки степени загрязнения изоляции.

Высокий коэффициент усиления яркости света позволяет производить диагностику с расстояния в десятки метров, что особенно важно для профилактического контроля оборудования под высоким напряжением. Разработанные методики дистанционного профилактического контроля внешней изоляции различных видов высоковольтного энергетического оборудования, основанные на регистрации характеристик оптического излучения разрядных процессов, обеспечивают высокую производительность и безопасность контроля.

Эпограммы с коронными или поверхностными частичными разрядами фиксируются с экрана дефектоскопа с помощью фотоприставки на цифровую фотокамеру, рисунок 16.

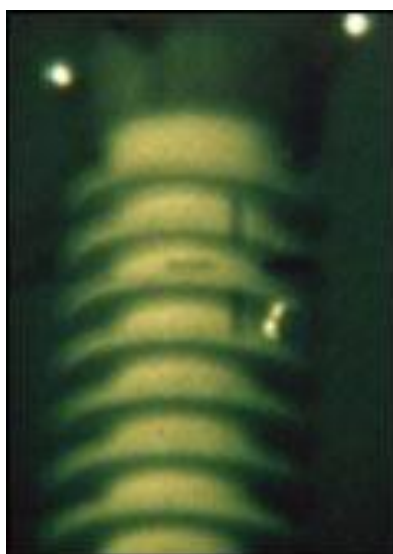


Рисунок 16 – Эпограмма с поверхностным разрядом

Технические характеристики прибора сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Технические характеристики ЭОД ФИЛИН-6

Габаритные размеры, мм, не более	
длина	340
высота (без ручки)	89
ширина	75
Надежная регистрация оптического излучения ПЧР с расстояния, м	4-50
Спектральный диапазон чувствительности, нм	
без светофильтров	280-800
с полосовыми фильтрами	300-400
с диспергирующим фильтром	360-560, 600-800
Пространственное разрешение в изображении на экране, мм ⁻¹	34
Коэффициент усиления яркости света, не менее	20000
Фокусное расстояние входного объектива, мм	108
Относительное отверстие (диафрагма)	1:02
Темновой фон (шум), кд/м ² , не более	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Отношение сигнал/шум, не менее	45
Напряжение питания, В	2,4 - 3
Потребляемый ток, мА	
в постоянном режиме	130
в режиме стробирующего питания 50 Гц	150
Масса, кг	2
Условия эксплуатации	
температура, °С	-10...+50
относительная влажность до, %	98

При проведении диагностики с помощью данного вида ЭОД девяти ПС, объектами которых выступили электрические шины, фарфоровые вводы аппаратов, подвесные и опорные изоляторы, экспертами были выявлены 59 дефектов, в том числе:

- микротрещины опорно-стержневых изоляторов и колонок разъединителей - 41% от общего числа повреждений;
- "нулевые" фарфоровые изоляторы в подвесной изоляции шин - 29%;
- набросы проволоки на токоведущие части аппаратов - 10%;
- заниженное сечение шлейфа - 8%;
- дефекты конструкции и монтажа - 12%.

Разработанные методики дистанционного профилактического контроля внешней изоляции различных видов высоковольтного энергетического оборудования, основанные на регистрации характеристик оптического излучения разрядных процессов, обеспечивают высокую производительность и безопасность контроля с приемлемой степенью достоверности. Эопограммы с коронными или поверхностными частичными разрядами фиксируются с экрана дефектоскопа с помощью фотоприставки, на видеокамеру или цифровую камеру. ЭОД "ФИЛИН-6" аналогов в России не имеет. За рубежом освоен выпуск аналогичного прибора фирмой Coro-Cam (ЮАР), цена которого составляет 70000.00 \$ США.

3.1.3 Инфракрасный контроль

Инфракрасный способ контроля так же нашёл применения для оценки технического состояния полимерных изоляторов. Причиной отклика полимерных изоляторов на инфракрасный контроль является выделение тепла, обусловленное снижением технических характеристик материала в процессе эксплуатации аппарата. Применение инфракрасной диагностики позволяет выявить поверхностные разряды исследуемого элемента. Индикатором наличия повреждений является светлое пятно на экране прибора. Возникновение пятна обусловлено протеканием тока в интерфейсе между материалами кор-

пуса и стержня. Однако для проведения диагностики приведённым способом особое влияние на точность измерений могут оказать условия проведения исследований, что является главным недостатком метода. Климатические характеристики, оказывающие влияние на точность измерений: ветер, роса, дождь, температура. Ввиду выше обозначенных причин проведение диагностики аппаратов с помощью инфракрасного контроля рекомендуют проводить в тёмное время суток.

Исследования инфракрасного способа показали, что не всегда разряды испускают достаточное количество тепла, необходимого для регистрации разряда. Однако процесс снижения гидрофобности поверхности изолятора, обусловленный возникновением короны, приводит к возникновению дугового разряда в сухой хоне, что в свою очередь приводит к увеличению температуры поверхности, позволяя обнаружить дефект с земли. Было отмечено, что результаты измерений частично зависят от солнечной радиации, но в большей степени привязаны к относительной влажности воздуха.

Нормальная эксплуатация электрических аппаратов подразумевает нагрев всех проводящих элементов, в том числе жёстких и гибких проводников. Поэтому использование тепловизоров позволяет обнаружить как некачественное контактное соединение, так и пробой поверхности изолятора за счёт индикации спектра излучения тепла. Применение в эксплуатации приборов инфракрасной индикации позволяет косвенным способом выявить дефекты в изоляционных конструкциях.

К недостаткам тепловизоров, как и переносных дефектоскопов, следует отнести незнание исследователя, какие параметры тепловизора следует подобрать для диагностики, необходим строгий учёт условий окружающей среды, территориальное расположения объекта исследования относительно других электрических аппаратов, соответствующие угловые коэффициенты излучения криволинейных поверхностей и выступов, возможность проведения контроля только для аппаратов, находящихся под напряжением.

При отключении аппаратов от напряжения время возможного проведения диагностики сокращается до двух часов, что недостаточно ввиду протяжённости исследуемой зоны.

Так же к методу инфракрасной диагностики следует отнести: длительность поиска дефектного аппарата, высокую стоимость инфракрасных приборов, длительность регистрации и записи сигналов, вес, малый диапазон рабочих температур. Неверный учёт условий окружающей среды нередко приводит к ошибкам при обработке результатов исследования, поэтому необходимо заблаговременно собрать информацию о местности, плане размещения аппаратов и исследуемых объектах в них, составить план-схему маршрута, учесть время проведения диагностики.

Использование контролирующих приборов запрещено при надвигающейся грозе. Так же запрещено приближаться к токоведущим элементам на расстояние ближе, чем закреплено в РД 153-34.0-03.150-00. Требование учёта множества факторов при инфракрасной диагностике обязывает обучать операторов навыкам работы с переносными приборами.

На практике широко применяют устройство инфракрасного контроля. Например, внешний вид тепловизора Guide B256V приведён на рисунке 17.



Рисунок 17 – Тепловизор Guide B256V

Тепловизор представляет собой оптоэлектронное устройство бесконтактного измерения, служит для снятия пространственного или пространственно-временного изменения температуры объекта путём формирования временной последовательности термограмм. Термограмма - многоэлементное двухмерное изображение, для каждого элемента которого определён цвет/градация одного цвета/ градация яркости экрана, определяемые в соответствии с условной температурной шкалой.

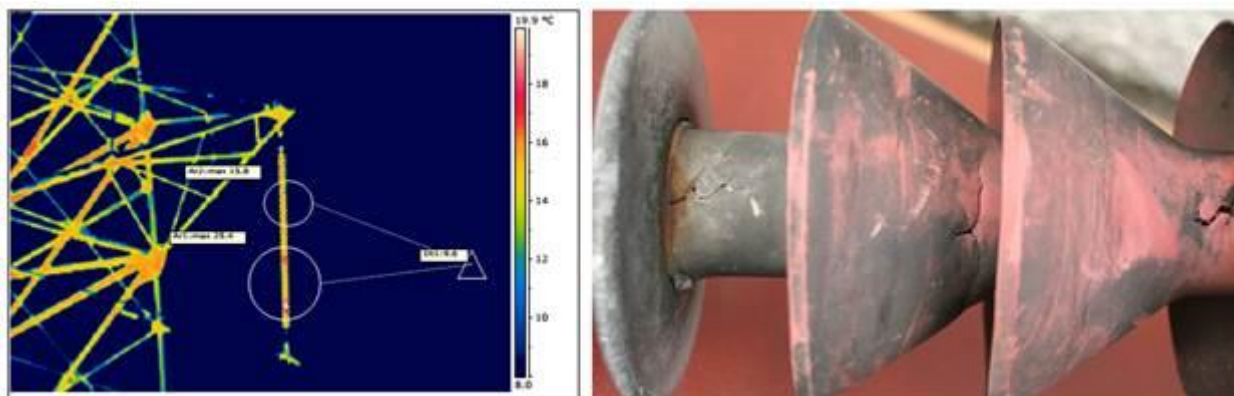


Рисунок 18 – Диагностика ВЛ 220 кВ

Изображения тепловых излучений могут иметь различные модификации, однако, принцип работы приборов одинаковый - фиксация разности температур объект-фон и преобразование информации в термограмму. Температурные поля объектов рассматриваются в виде цветового изображения, где градации цвета соответствуют градации температур. Диапазон измеряемых температур может варьироваться для разных моделей и модификаций, обычно он составляет от -40 до $+2000^{\circ}\text{C}$ [38].

Все цвета, отображённые на термограмме, условные и не имеют связи с реальными цветами, то есть являются псевдоцветными. Термограммы визуализируют при использовании цветовых палитр. Связь цветовой палитры с цветами термограммы задаёт пользователь. Выбор цветов палитры зависит от диапазона используемых температур, значение которых должны задаваться в соответствии с ожидаемыми температурами. Изменение цветовой палитры используют с целью изменения контраста фон-объект для увеличения восприятия результатов обследования.

На рисунках 19-22 изображены термограммы обследования полимерного изолятора при различных его состояниях.

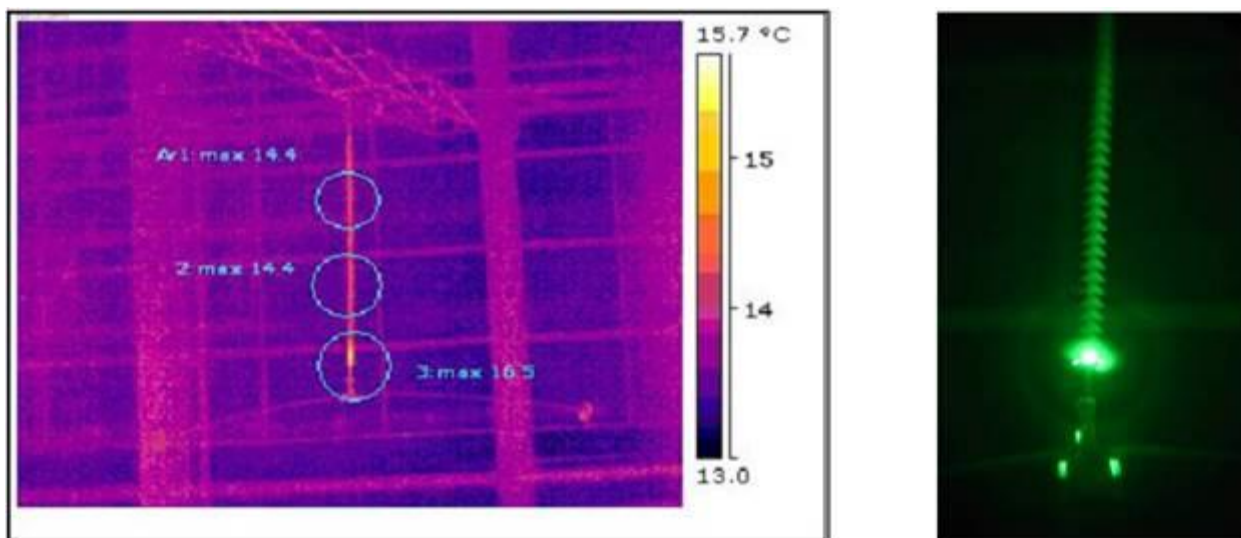


Рисунок 19 – Термограмма нормального состояния изолятора

На рисунке 19 изолятор находится в нормальном состоянии. На термограмме видно, что область повышенного нагрева изолятора находится непосредственно у оконцевателя, размеры области составляют 10-15 см, избыточная температура – не более 20°C. Коронные разряды на изоляторе отсутствуют.

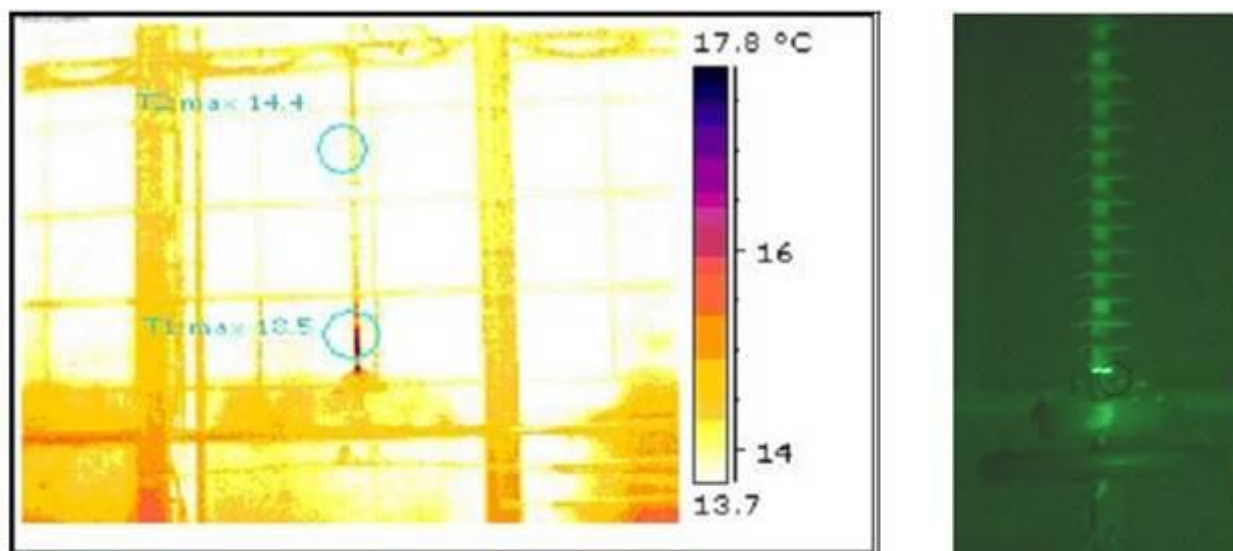


Рисунок 20 – Термограмма начального повреждения изолятора

На рисунке 20 показана начальная стадия повреждения изолятора. В этом случае область повышенного нагрева изолятора находится непосредственно у оконцевателя (в зоне повреждения), размеры области составляют

10-15 см, избыточная температура не превышает 20С. Коронные разряды на изоляторе отсутствуют.

Коронные разряды, которые видны на термограмме, возникают на оконцевателе изолятора. Безусловно, это также является недостатком его конструкции, однако к рассматриваемому повреждению изолятора из-за проникновения влаги это не имеет отношения. Более того, как будет показано далее, при сильном повреждении изолятора коронные разряды на оконцевателе могут исчезать. И это служит дополнительным браковочным признаком для выявления поврежденных изоляторов.

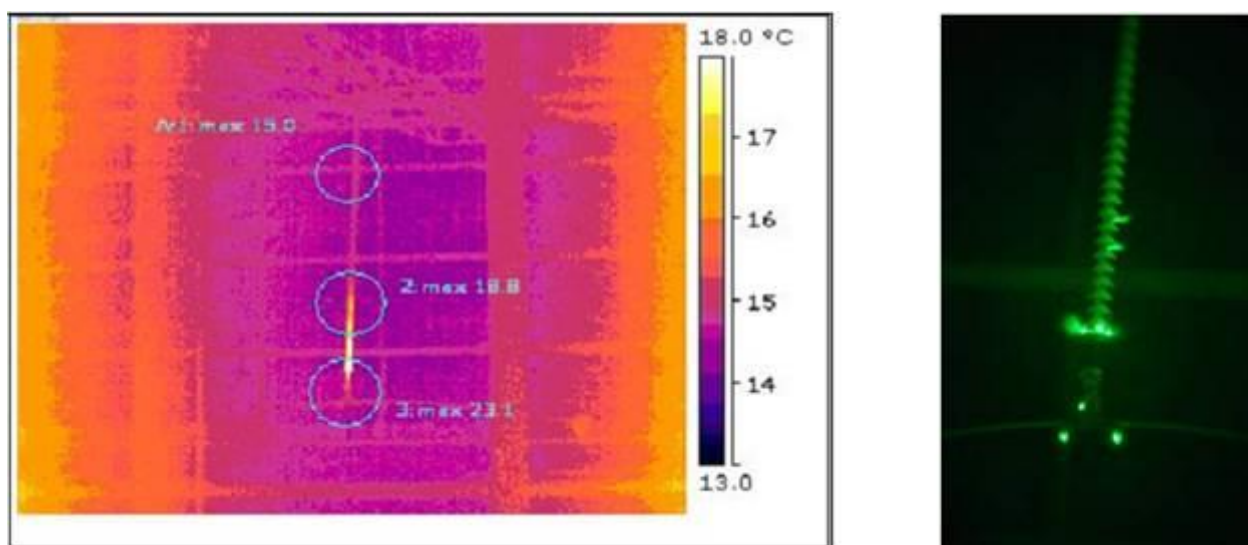


Рисунок 21 – Термограмма сильного повреждения изолятора

На рисунке 21 и 22 видна сильная степень повреждения со сквозной эрозией оболочки и прямым доступом влаги в изолятор. При данном повреждении условия нагрева и возникновения коронных разрядов на изоляторах могут меняться в зависимости от степени увлажнения поврежденной части изолятора за счет прямого доступа влаги.

В отсутствие увлажнения, когда изоляторы длительное время находились в сухом помещении, термограмма нагрева аналогична предыдущей. На поверхности изолятора могут возникать коронные разряды в местах сквозных отверстий в оболочке. Однако условия их возникновения не стабильны, и они могут отсутствовать в течение длительного времени.

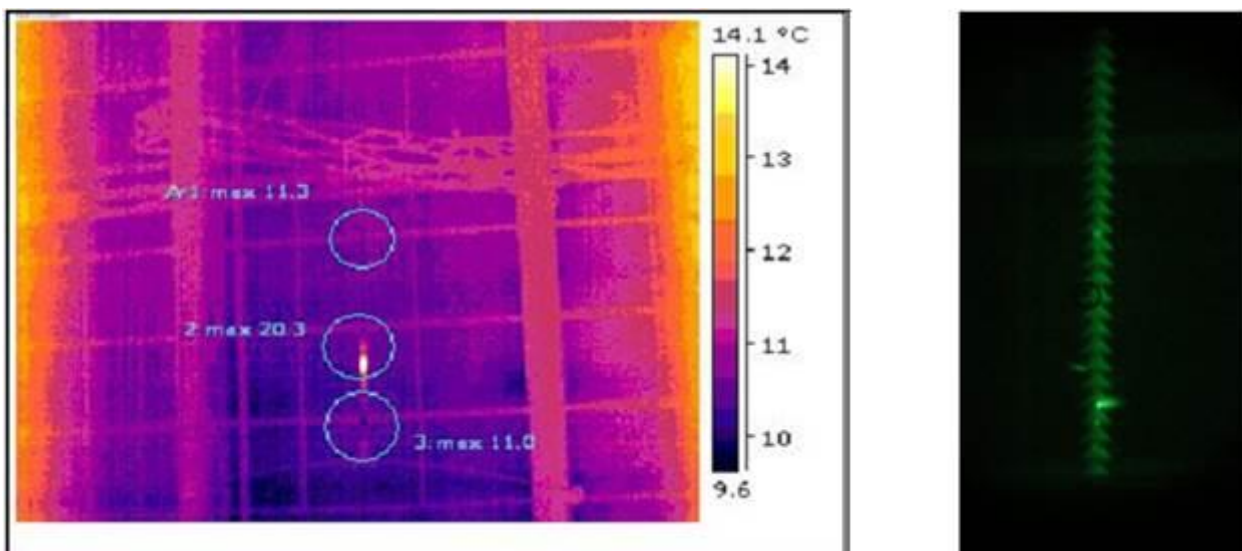


Рисунок 22 – Термограмма предаварийного состояния изолятора

На участке повреждения изолятора непосредственно у оконцевателя нагрев отсутствует. Область повышенного нагрева находится на границе зоны повреждения, ее размер составляет ~15 см, избыточная температура достигает 90°C. Наблюдаются стабильные коронные разряды в местах разрывов оболочки, а также на границе зоны повреждения, где сквозные отверстия в оболочке отсутствуют.

В таблицу 9 сведены наиболее типичные признаки дефектных изоляторов.

Таблица 9 – Типичные признаки дефектных изоляторов

Оценка технического состояния	Способ контроля	
	Тепловизионный контроль	Оптический контроль
Нормальное состояние. Недостаток конструкции изолятора (плохая конструкция экранных дисков, отсутствие экранов)	<ul style="list-style-type: none"> • повышенный нагрев; • превышение температуры не более 0.3 °C; 	<ul style="list-style-type: none"> • коронные разряды отсутствуют; • наблюдаются коронные разряды на оконцевателях;

Оценка технического состояния	Способ контроля	
	Тепловизионный контроль	Оптический контроль
Начальная стадия повреждения	<ul style="list-style-type: none"> • область повышенного нагрева вблизи нижнего оконцевателя; • размер области 10-15 см.; • температура в пределах 0.5-1 °С; 	<ul style="list-style-type: none"> • коронные разряды на изоляционной части отсутствуют; • наблюдаются коронные разряды на оконцевателях или экранных дисках;
Средняя степень повреждения	<ul style="list-style-type: none"> • область повышенного нагрева вблизи нижнего оконцевателя; • размер области 10-30 см.; • температура достигает 5 °С; 	<ul style="list-style-type: none"> • коронные разряды на изоляционной части отсутствуют; • наблюдаются коронные разряды на оконцевателях или экранных дисках;
Сильная степень повреждения	<ul style="list-style-type: none"> • область повышенного нагрева вблизи оконцевателя; • размер области более 30 см.; 	<ul style="list-style-type: none"> • могут наблюдаться коронные разряды на изоляционной части;

Оценка технического состояния	Способ контроля	
	Тепловизионный контроль	Оптический контроль
Сильная степень повреждения	превышение температуры более 5 °С;	наблюдаются коронные разряды на оконцевателях или экранных дисках;
Предаврийное состояние	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствует нагрев вблизи оконцевателя; • область повышенного нагрева имеет локальный характер, отстоит от нижнего оконцевателя на 0.25-0.5 изоляционной высоты; • размер области 10-15 см.; • превышение температуры более 5 °С; 	<ul style="list-style-type: none"> • могут наблюдаться коронные разряды на изоляционной части; • коронные разряды на оконцевателях или экранных дисках отсутствуют;

Начальной стадией повреждения в большинстве случаев - проникновение влаги в изолятор, незначительное повреждение стержня около оконцевателя, не приводящее к возникновению дендритов вдоль границы раздела, незначительная эрозия защитной оболочки изолятора. Начальная стадия повреждения не приводит к снижению показателей электрической или механи-

ческой прочности. Прогнозируемый остаточный ресурс изолятора до момента полного отказа превышает один год.

Причинами возникновения средней степени тяжести повреждения могут быть: проникновение влаги, образование дендритов вдоль конструктивных границ. Размер дендритов составляет 5-10 см., значительная эрозия защитной оболочки без возникновения сквозных отверстий. Прогнозируемый остаточный ресурс по электрической или механической прочности выше 80%. Прогнозируемый срок эксплуатации изолятора не менее полугода.

Причины возникновения предаварийного состояния изолятора - проникновение влаги в изолятор, рост дендритов более 50 см., существенная эрозия защитной оболочки с возникновением сквозных отверстий. Для такого состояния изолятора его остаточный ресурс по механической и электрической прочности менее 80%. Прогнозируемый срок эксплуатации элемента до момента его полного разрушения не более полугода.

3.1.4 Акустический контроль

Возникновение разрядов сопровождается шумом, который может быть зарегистрирован при использовании чувствительных микрофонов. Научные сотрудники исследовали возможности применения ультразвукового излучения в воздухе для сигнализации дефектов электрических аппаратов. Они пришли к выводу, что внутренние дефекты невозможно определить с помощью акустической диагностики, однако акустическая диагностика эффективна для обнаружения дефектов кабельных наконечников и соединений. Связующим элементом наружной поверхности окончания и окружающей среды является волоконно-оптический провод, используемый для связи исследуемого объекта и детектора регистрации сигналов.

Акустические измерения используют в двух случаях. В первом исследовании проводят, регистрируя акустические сигналы, излучаемые объектом. Во втором - регистрируют отражённые звуки внутри объекта. Второй способ относят к активному или неразрушающему и предлагают для диагностики полимерных изоляторов. Анализ результатов диагностики (степень и харак-

тер дефектов) получают, анализирую такие данные, как: амплитуда звука, частотный состав, фазовый сдвиг, сигнал возврата. Например, пустоты или расслоения внутри диэлектрика приводят к отражениям, которые регистрируют, определяя глубину проникновения звука.

Испытания акустического контроля проводили на образцах литой смолы. Отмечены различные недостатки этого метода, однако точность исследования была выше 95%. Так же было установлено, что для кабелей из сшитого полиэтилена возможна регистрация пустот на интерфейсах в полупроводниковой оболочке.

Для оценки состояния полимерных материалов используют лазерный акустический микроскоп, который работает в диапазоне нескольких МГц-ГГц. Образования дендритов на поверхности материала или в силиконовой резине обнаруживают, применяя ультразвуковой датчик с оптимизацией данных и улучшенной их обработкой, однако полученные изображения не позволяют выявить более тонкие структуры повреждений.

Проведение диагностики методом акустической эмиссии позволяет производить:

- регистрацию дефектов в опорных стержневых изоляторах и покрышек, обусловленных ростом мощности в процессе эксплуатации, монтажом или ремонтом;
- обнаружение неисправностей в одноколонных разъединителях напряжением 35, 110 или 220 кВ.

Отличительной чертой такого варианта управления является низкий уровень мощности требуемого действия, что составляет не более 40% от минимальной деструктивной нагрузки, нормализованной для полимерного изолятора. Высокая эффективность метода достигнута за счёт применения оригинальной методики тестирования, основанной на регистрации нарушения эффекта Кайзера, возникающего при повторной нагрузке дефектного изолятора.

Метод акустической эмиссии позволяет выявлять так же и усталостные повреждения в изоляторах. Существует практика отказа от множества изоляторов, для которых была произведена диагностика рассматриваемым методом. Для изоляторов, работающих в условиях сильного обледенения проводов направление дефектного силового воздействия прямо пропорционально направлению нагрузки.

Исследование способом акустической эмиссии не позволяет выявить дефекты, развивающиеся в процессе силовой испытательной нагрузки изолятора.

Метод акустической эмиссии эффективно применять для диагностики изоляторов, эксплуатируемых в экстремальных режимах, имеющих длительный срок эксплуатации, неблагоприятные статистические характеристики отказа работы. В этом случае возникает необходимость непрерывной регистрации сигналов акустической эмиссии при любых механических испытаниях исследуемых объектов.

При испытании опорно-стержневых изоляторов, согласно циркуляру Ц-04-97 (Э) "О предупреждениях поломок опорно-стержневых изоляторов и разъединителей 110-220 кВ", акустико-эмиссионному анализу должны подвергаться:

- поступившие для начала эксплуатации на предприятии изоляторы напряжением 110 кВ;
- изоляторы любых типов по истечении гарантийного срока эксплуатации на разъединителях 110-220 кВ;
- изоляторы любых типов при проведении ремонтных работ на разъединителях 110-220 кВ.

По результатам практических исследований получено, что использование методов ультразвукового контроля и акустической эмиссии хорошо дополняют друг друга. В эксплуатации широко применяют акустические приборы ПАК-3М и УКИ-1, которые используют "Челябэнерго", "Ростовэнерго", "Курганэнерго", "Вологдаэнерго". Положительный опыт применения акусти-

ческой эмиссии привлекает интерес таких компаний, как "Газпром", "Росатомэнерго", "Минавтопром".

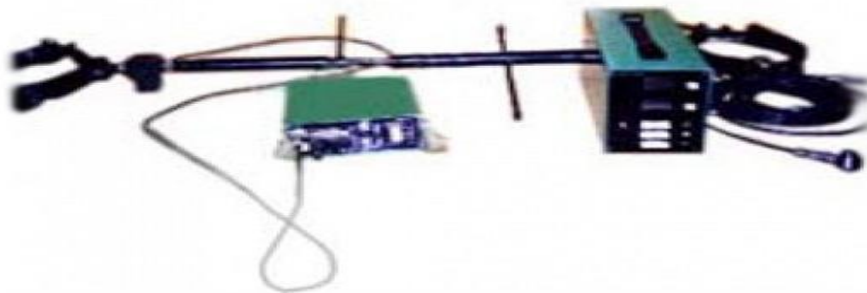


Рисунок 23 – Аппарат ПАК-3М

ПАК-3М - прибор индикаторного типа, позволяющий контролировать одновременно два изолятора полюсов разъединителя. Прибор улавливает сигналы акустической эмиссии, усиливает и обрабатывает их, и отображает на цифровом табло текущее значение их активности. В результате проведения контроля прибор отображает эмиссионные характеристики изоляторов и индицирует результат контроля автоматически принимаемого решения о годности изоляторов к дальнейшей эксплуатации: "НОРМА" или "ДЕФЕКТ".

Контроль состояния опорно-стержневых изоляторов выполняется в следующей последовательности:

- заранее выбирается испытательная нагрузка, соответствующая 40% минимальной разрушающей нагрузки для данного типа изоляторов. При учете конкретных, менее напряженных условий эксплуатации изолятора, испытательная нагрузка может быть выбрана ниже;

- на верхних фланцах двух изоляторов полюса разъединителя укрепляют стяжное устройство прибора УКИ-1, а на фарфоре изоляторов эмиссионные датчики прибора ПАК-3М;
- вращая ходовой винт стяжного устройства, действующее на изоляторы усилие, увеличивают до выбранного испытательного значения, выдерживают примерно 60 с, затем снижают нагрузку до испытательного значения. Достигнув его, активизируют прибор ПАК-3М, который при достигнутой постоянной испытательной нагрузке анализирует суммарную активность эмиссии и принимает решение о годности изоляторов.

Своевременное выявление дефектов изоляторов на ряде предприятий позволило предотвратить серьезные аварии, избежать случаев травматизма персонала от поломок изоляторов. Внедрение ПАК-3М и УКИ-1 позволяет значительно сократить объем работ по замене старых изоляторов на новые. Приборы ПАК-3М и УКИ-1 успешно используются на десятках предприятий электрических сетей и электрических станций. Опыт эксплуатации подтвердил их высокую эффективность и надежность.

Основные технические характеристики прибора сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Технические характеристики ПАК-3М

Параметр	Значение
Габаритные размеры первичного преобразователя, мм, не более	40 x 40 x 40
Масса, кг, не более	0,1
Габаритные размеры блока измерения и индикации, мм, не более	120 x 200 x 300
Масса, кг, не более	3,5
Длина соединительного кабеля, м	8 ± 0,1
Максимальная сумма импульсов АЭ	999

Параметр	Значение
Период отсчета активности АЭ, с	1
Длительность замера импульсов АЭ, с	10
Коэффициенты пересчета импульсов АЭ	1; 10;
Время готовности прибора к работе после включения питания, мин., не более	1
Питание, В: от встроенного источника от сети переменного тока 50 Гц	12,6; 220
Мощность потребления, ВА, не более	10

Ежегодно акустической диагностике подвергают 500-600 эксплуатируемых изоляторов. Так же исследуют резервные изоляторы, находящиеся на складах.

Работы по акустическому контролю проводят по технологической карте или ППР с оформлением допуска по наряду.

Опыт акустической диагностики работников службы электрификации Восточно-Сибирской железной дороги по обнаружению дефектных изоляторов контактной сети показывает, что наибольшей эффективностью исследования обладает акустическая диагностика с использованием ультразвукового детектора УД8. Данный прибор позволяет дистанционно выявлять дефектные изоляторы в гирляндах, находящихся под напряжением. Регистрация акустического шума осуществляется в диапазоне 38-45 кГц при помощи пьезоэлектрического микрофона.

После регистрации сигнал проходит через операционный усилитель, после выделяется спектр низких частот, усиливается и подаётся в головные

наушники и на стрелочный индикатор. Признаком наличия дефекта у исследуемого объекта является возникновение треска в наушниках прибора, который слышит оператор.

При проведении анализа способов проведения диагностики полимерных изоляторов получено, что методы контроля можно разделить по критерию стоимости применения, эффективности, простоты проведения и удобства использования.

Самым дешёвым способом является визуальный осмотр. Он позволяет выявить внешние повреждения изолятора, а именно: расколы, трещины, эрозию, образования поверхностных разрядов, что является малой частью всевозможных повреждений. Обнаружение внутренних дефектов невозможно визуальным контролем.

Применение ультрафиолетового и инфракрасного контроля позволяет расширить возможности визуального контроля. С их помощью возможно выявление коронных и частичных разрядов изолятора. Их рекомендуют использовать как дополнительный способ контроля, который позволяет выявить дефектные изоляторы с высокой степенью повреждения. Ввиду локального характера повышения температуры, применение таких методов сильно зависит от климатических характеристик, делая результаты чувствительными к ветру, росе, дождю, солнечной радиации.

Акустические методы контроля основаны на регистрации упругих колебаний, возбуждаемых или возникающих в исследуемом элементе. Этот способ диагностики позволяет выявить глубинные дефекты аппарата - нарушения, расслоения. Так же есть возможность обнаружения дендритов, применяя ультразвуковой датчик с оптимизацией данных их улучшенной обработкой. Недостатком метода является его невысокая точность, в результате чего распространён опыт, когда исправные гирлянды изоляторов признают дефективными.

Возможности рассмотренных методов исследования приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Возможности методов диагностики

Способ диагностики	Условия проведения	Возможные исследуемые дефекты
Визуальный осмотр	<ul style="list-style-type: none"> • Рекомендуется проводить наблюдения вблизи изолятора; • Требуются приборы: бинокль, телескоп, кран; 	<ul style="list-style-type: none"> • эрозия; • растрескивание; • раскалывание; • пулевые отверстия; • проколы; • увлажнения на концевых заделках;
Ультрафиолетовый контроль	<ul style="list-style-type: none"> • измерение желательно проводить в тёмное время суток; • необходимо избегать солнечного излучения; 	<ul style="list-style-type: none"> • источники короны; • поверхностные частичные разряды; • микротрещины;
Инфракрасный контроль	<ul style="list-style-type: none"> • рекомендуется проводить исследования ночью или в пасмурную погоду; • отсутствие осадков при проведении измерений; • с целью повышения эффективности рекомендуется диагностика в тёплое время года; 	<ul style="list-style-type: none"> • проколы; • трещины; • некачественное контактное соединение; • пробой изоляторов; • неправильный монтаж; • расслоение;

Способ диагностики	Условия проведения	Возможные исследуемые дефекты
Акустический контроль	<ul style="list-style-type: none"> • требуется высокая чувствительность звуковых датчиков; 	<ul style="list-style-type: none"> • образование дендритов; • внутренние трещины; • мелкие расслоения;

Для расширения области диагностики предлагается комбинировать несколько методов. Например, применение ультрафиолетового, инфракрасного и акустического способов теоретически способны выявить все возможные дефекты изоляторов. Многообразие способов диагностики требует тщательного отбора и анализа приборов контроля и вновь предлагаемых методов. Потенциально востребованные методы должны быть подвержены испытаниям и сравнительной оценке достоверности и адекватности измерений, перед применением их в эксплуатации.

3.2 Встроенные устройства контроля состояния изоляторов

Индивидуальная диагностика изоляторов позволяет осуществлять индивидуальный подход к оценке их технического состояния с учётом особенностей производства, монтажа, эксплуатации, внешних и внутренних воздействующих факторов, при этом значительно увеличивается эффективность определения места повреждения вплоть до конкретного изолятора, находящегося в гирлянде.

Опыт эксплуатации полимерных изоляторов показывает, что благодаря их высоким электрическим характеристикам (трекингостойкости, эрозийной стойкости и др.), их внедрение в эксплуатацию позволяет повысить экономический эффект работы электрической сети, обусловленный увеличением надёжности электроснабжения, снижением затрат на амортизацию и реновацию, простоте и удобству использования.

Требованиями для встроенных индикаторов полимерных изоляторов могут быть:

- сигнальный элемент индикатора, зарегистрировавшего протекание тока КЗ через контролируемый элемент ЛЭП, должен быть визуально распознан на расстоянии не более 40-50 м, либо иметь возможность дистанционной сигнализации его состояния;
- устойчивость индикатора для грозовых перекрытий изоляции исследуемого элемента ЛЭП для случаев, когда искровой разряд не развивается в дуговой;
- отсутствие влияния встроенного индикатора на электрические, физические или механические характеристики испытуемого объекта;
- устойчивость индикатора к агрессивным условиям - вибрации, загрязнению, влаге. Устойчивость к температурам в диапазоне норм эксплуатации - от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- возможность многократного использования индикатора;
- коррозионная стойкость элементов индикатора;
- высокий срок гарантийной работы индикатора, который не должен быть меньше гарантийного срока службы диагностируемого элемента.

3.2.1 Визуальные способы контроля неисправности изоляторов

Для увеличения эффективности проведения диагностики и повышения точности места определения вплоть до конкретного изолятора было предложено применять сигнальные устройства индикации состояния изоляторов. Его внешний вид приведён на рисунке 24.

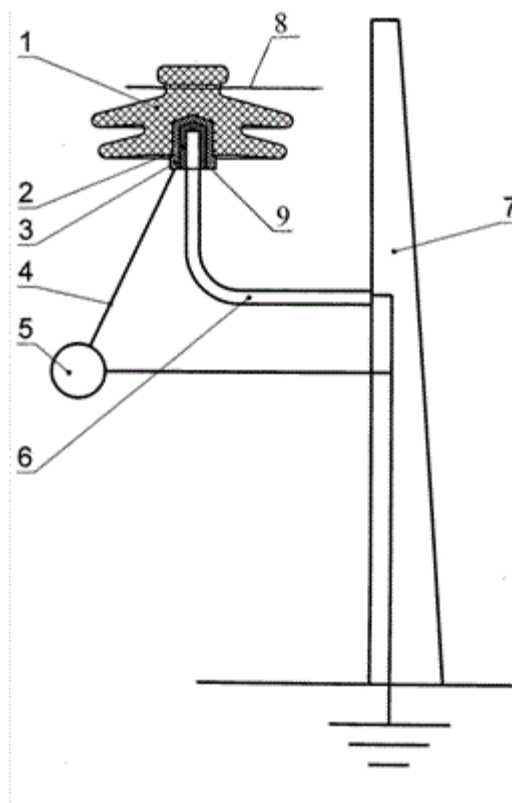


Рисунок 24 – Сигнальное устройство дефектов изоляторов

На рисунке 24 представлена схема устройства для определения дефектов в изоляторах, где: изолятор 1, установленный на опоре 7 и соединённый с заземленной конструкцией 6, с помощью крепежного элемента 2 с пленкой 3 из токопроводящего материала, причем к выступающей части 9 крепежного элемента 2 с пленкой 3 присоединен металлический проводник 4, соединенный через сигнальное устройство 5 с заземленной конструкцией 6.

Данное устройство является патентом класса H01B17/42 - средства для обеспечения оптимального распределения напряжения. Автором является Несенюк Татьяна Анатольевна.

Изобретение относится к электротехническому оборудованию, а именно к штыревым, вводным и проходным изоляторам. Крепежный элемент выполнен выступающим за пределы изолятора в месте крепления к заземленной конструкции, покрывает поверхность крепежного элемента равномерной по толщине пленкой из токопроводящего материала, на выступающей части крепежного элемента к пленке жестко прикреплён металлический проводник,

другой конец которого через сигнальное устройство соединен с заземленной конструкцией.

Устройство позволяет обнаружить дефект изолятора за счет использования тока замыкания на землю, то есть за счет самого дефекта изолятора, и исключить использование контрольно-измерительной аппаратуры. Применение сигнального устройства значительно сократит время поиска поврежденного изолятора и может предотвратить аварийное состояние системы электроснабжения.

Сущность изобретения заключается в том, что крепежный элемент выполняют выступающим за пределы изолятора в месте крепления к заземленной конструкции, наносят на поверхность крепежного элемента равномерную по толщине пленку из токопроводящего материала, на выступающей части крепежного элемента к пленке жестко прикрепляют металлический проводник, другой конец которого через сигнальное устройство соединяют с заземленной конструкцией.

Предлагаемое устройство для определения дефектов в изоляторах работает следующим образом: с провода 8 линии электропередачи при пробое изолятора начинает протекать однофазный ток замыкания на землю. При однофазном замыкании в сетях высокого напряжения токи могут быть от 10 А до нескольких кА. Величину тока определяет заземление нейтрали питающего трансформатора.

При заземленной нейтрали большие токи могут вызывать перегрев токоведущих частей, приводящих к пожарам, старению изоляции или свариванию контактов коммутационного оборудования, механические повреждения оборудования, возникновения в сети опасных потерь напряжения. При аварийных токах (кА) селективно срабатывает релейная защита, с помощью которой отключается поврежденный участок электрической цепи. В сетях с изолированной нейтралью однофазные токи имеют небольшие значения, например, допустимый ток при напряжении 35 кВ (Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Утверждены приказом Министра энергетики

России от 8 июля 2002 г. № 204) не должен превышать 10 А. При этом определить место замыкания на землю достаточно сложно, трудоемко и длительно (2-8 ч).

Длительный поиск замыканий на землю может стать причиной развития повреждений с последующим переходом в аварийное состояние системы электроснабжения при переходе из однофазного замыкания в междуфазное, ускоренное старение изоляции некоторых электрических машин, явления феррорезонанса, от которых в рассматриваемых сетях чаще всего повреждаются трансформаторы напряжения и слабо нагруженные силовые трансформаторы, работающие в режиме, близком к холостому ходу. Недоотпуск электроэнергии потребителям приводит к значительным экономическим потерям у предприятий, занимающимися поставкой электроэнергии. Однофазные замыкания в электрических сетях представляют большую опасность для жизни оказавшихся поблизости людей, служат источником электротравм обслуживающего персонала и нередко являются причиной несчастных случаев.

Кроме того, протекание токов на землю сопровождается блуждающими токами. Коррозионные действия блуждающих токов приводят к выносу в грунт частиц металла и разрушению металлических конструкций. В результате этого происходит утечка газов и жидкостей из трубопроводов, что может привести к пожарам и взрывам или прекращению работы устройств связи и снабжения электроэнергией при повреждениях кабелей. Коррозионное воздействие переменного тока частотой 50 Гц и увеличивается с уменьшением частоты и увеличением плотности тока отекания. Опасность повреждения зависит от плотности тока утечки, приходящейся на единицу площади.

В предлагаемом устройстве, из-за разности потенциалов между пробитым изолятором 1 и заземленной конструкцией 6, однофазный ток проходит через пленку 3 из токопроводящего материала, нанесенную на крепежный элемент 2, с выступающей части 9 которого по проводнику 4 через сигнальное устройство 5 поступает на заземленную конструкцию 6. При прохождении однофазного тока через сигнальное устройство 5 последнее срабатывает,

причем сигнальное устройство может быть выполнено световым, цветовым, звуковым.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет обнаружить дефект изолятора за счет использования тока замыкания на землю, то есть за счет самого дефекта изолятора, и исключить использование контрольно-измерительной аппаратуры. Применение сигнального устройства значительно сократит время поиска поврежденного изолятора и может предотвратить аварийное состояние системы электроснабжения.

Сигнальным устройством неисправности изолятора может выступать термокраска, которая меняет свой цвет при изменении температуры поверхности её нанесения. Повышение температуры поверхности обусловлено нагревом корпуса, которое в свою очередь может быть вызвано прохождением тока КЗ через исследуемый элемент.

Согласно закону Джоуля-Ленца, количество теплоты, выделяемое элементом за единицу времени, прямо пропорционально квадрату тока этого элемента и сопротивления участка:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t , \tag{1}$$

где Q - количество теплоты, выделенное на элементе;

I - ток элемента;

R - сопротивление элемента;

t - время исследования.

Нанесение необратимой краски на поверхность исследуемых элементов оперативным персоналом, обслуживающим электрические сети ЛЭП или ПС, позволит визуально определить неисправность путём осмотра оборудования. В зависимости от величины тока, проходящего через элемент, изменится количество теплоты, выделенное им, и, следовательно, температура поверхности аппарата. Тогда анализ цветовой гаммы термокраски позволит зарегистри-

стрировать не только вид повреждения, но и его вид, длительность воздействия.

Преимуществом применения термокраски является её невосприимчивость к действию электромагнитных полей, создаваемых электрическими аппаратами. Она обладает высокими эргономическими свойствами в условиях вибрации, невосприимчива к тепловым потокам, электромагнитным излучениям, атмосферным воздействиям, что делает привлекательным её использование в агрессивных условиях эксплуатации.

Помимо применения термокраски визуальным устройством сигнализации может выступать индикатор типа "ИНТЕМ". Он представляет собой устройство в виде полоски, выполненной из фольги, с набором необратимых термоиндикаторных меток, покрытых защитным слоем.

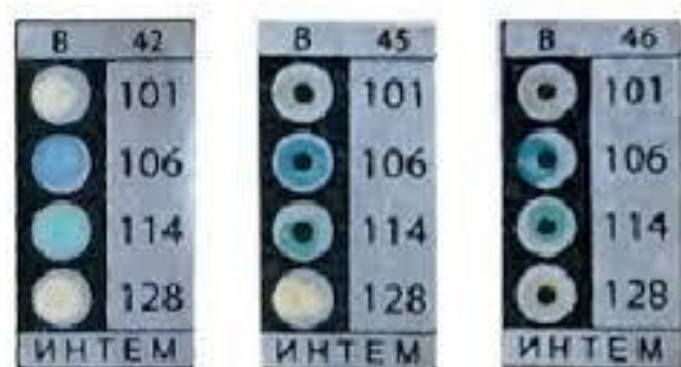


Рисунок 25 – Индикаторные полоски "ИНТЕМ"

При нагреве метки начинают плавиться и, в зависимости от марки полоски, контрастный чёрный кружок в таблице, который соответствует температуре (рисунок 25), либо будет проявляться число, которое соответствует температуре нагрева (рисунок 26).

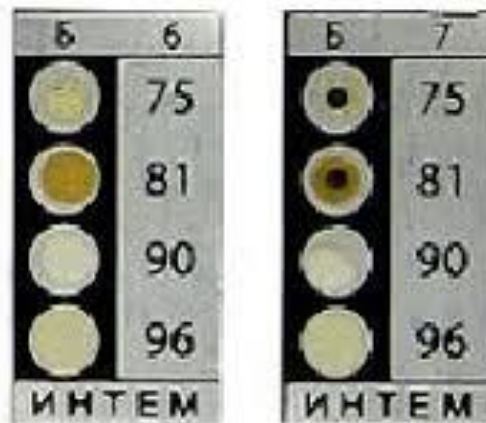


Рисунок 26 – Проявление температуры на индикаторе

Применение встроенных индикаторов визуального типа позволяет находить неисправное устройство, определять причину возникновения неисправности.

3.2.2 Электромеханические сигнальные устройства

В качестве электромеханических сигнальных устройств технического состояния аппаратов применяют устройства с визуальным обнаружением неисправности - опорный штыревой изолятор с перемещающимся сигнальным устройством, рисунок 27. Сигнальное устройство срабатывает за счёт прохождения тока пробоя изолятора.

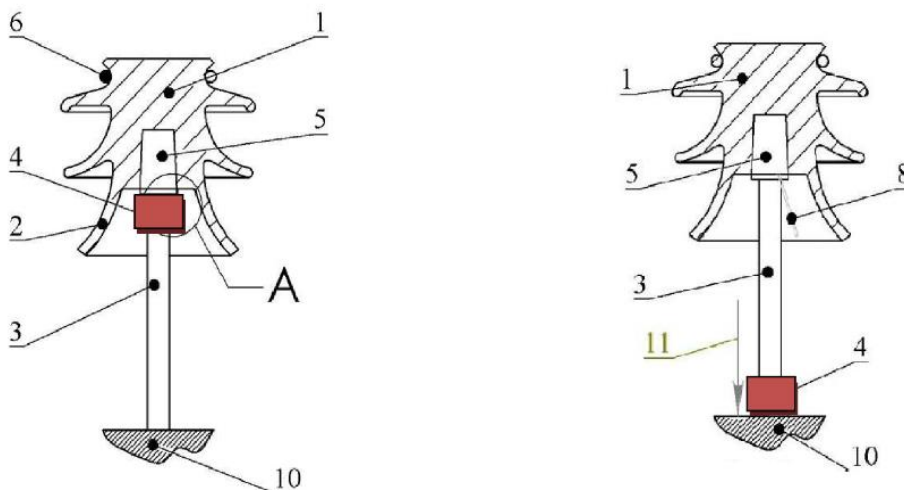


Рисунок 27 – Сигнальный опорно-штыревой изолятор

Работа штыревого изолятора такого типа происходит следующим образом:

- при возникновении пробоя изолятора начинает протекать ток пробоя через элемент;
- ввиду разности потенциалов между пробитым изолятором и заземлённой конструкции через проводящую поверхность колпачка будет проходить однофазный ток КЗ;
- прохождение однофазного тока приведёт к перегоранию проводника, удерживаемое им перемещающееся кольцо трубообразной формы будет перемещаться, опускаясь за пределы юбки изолятора.

В нормальном состоянии сигнальное кольцо удерживается проводником под юбкой изолятора. Удачное место установки кольца защищает его от возможных механических нагрузок, которые могут быть обусловлены порывами ветра, осадками, солнечной радиацией, атмосферными и коммутационными перенапряжениями [40].

Благодаря трубообразной форме сигнальное кольцо будет перемещаться вдоль штыря в результате воздействия собственной тяжести и не упадёт на землю, а будет располагаться на траверсе в зоне видимости наблюдателя. Для увеличения эффективности восприятия кольца предлагается окрашивать его поверхность красной краской с отражающим эффектом для наблюдения в темное время суток.

3.2.3 Бесконтактная RFID технология контроля

Применение бесконтактной RFID технологии позволяет расширить возможности обнаружения дефектов, применяя их в различных отраслях промышленности. Радиочастотная идентификация позволяет регистрировать повреждения объектов на расстоянии, может содержать определённые характеристики сигналов, сохранять информацию об контрольных состояниях объектов.

Данный способ диагностики предлагается использовать для контроля состояния изоляторов ВЛ на открытых или закрытых распределительных устройствах, тяговых или трансформаторных ПС.

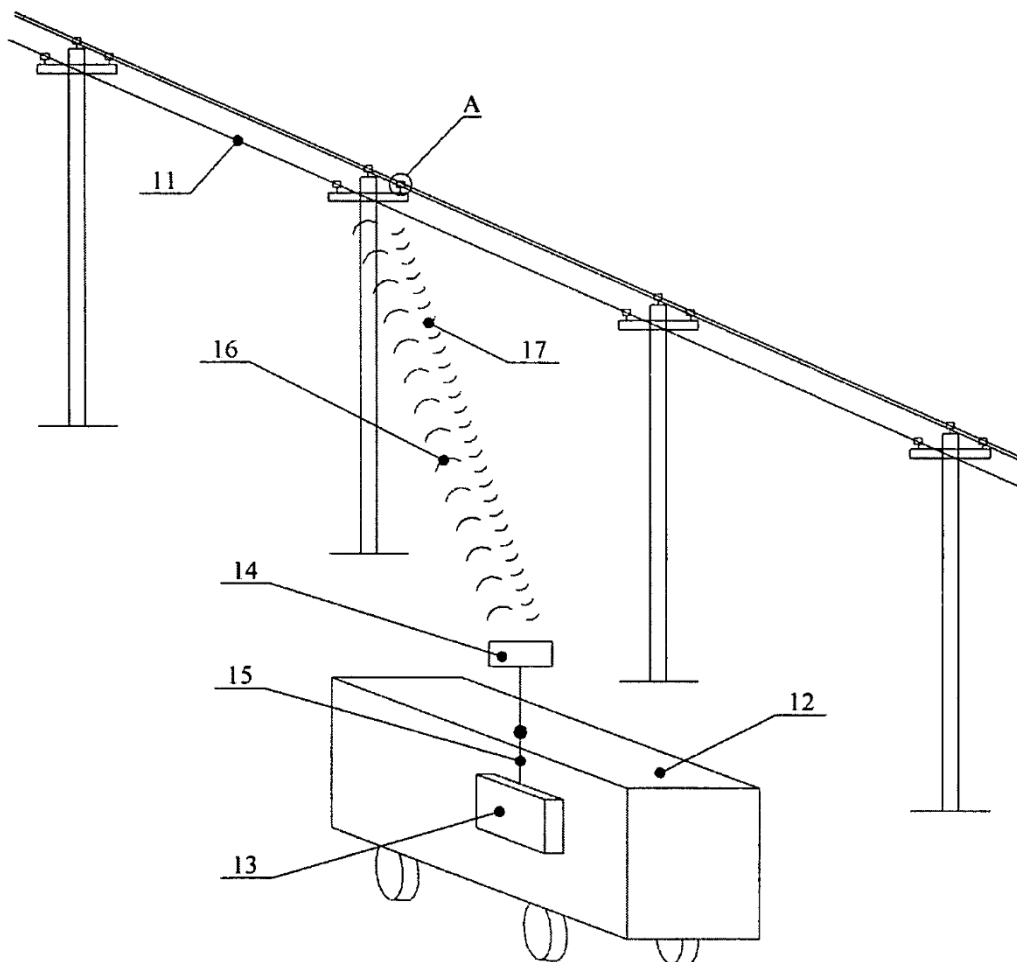


Рисунок 28 – RFID технология

Радиочастотная система включает в себя три основных компонента: считыватель, метки, компьютерные системы обработки данных.

Считыватель системы подключают к меткам по способу радиосвязи. Он считывает информацию с меток, после отправляет данные в базы компьютерной системы. Конструкционно считыватель имеет приёмопередаточное устройство и антенну, снимая сигнал с метки и отправляя ответный сигнал компьютеру. Микропроцессор проверяет и дешифрует данные, наличие памяти позволяет сохранять данные для их последующей передачи.

Метка состоит из двух основных компонентов - интегральной схемой, управляющей связью со считывателем и антенной. Интегральная схема имеет запоминающее устройство, которое содержит идентификационный код. Метка регистрирует сигнал на считывателе и передаёт данные, записанные в памяти устройства, обратно в считыватель системы. Отсутствие необходимости в прямом контакте или видимости между считывателем и меткой обусловлена возможностью проникновения радиосигнала через неметаллические материалы.

В случае распознавания неисправного изолятора используют пассивную метку, ввиду её меньших габаритов, стоимости, веса, фактически неограниченного срока службы, отсутствия необходимости в техническом обслуживании. Пассивная метка включает в себя антенну, конденсатор и небольшую полупроводниковую систему, объединённых воедино корпусом.

При выборе меток необходимо учитывать некоторые свойства. Например, метка PatchTag предназначена для крепления как на диэлектрические поверхности (пластик, стекло, фарфор), так и на металлические поверхности исследуемых объектов. Важнейшей особенностью метки является конструкция её антенны - сонаправленное параллельное положение её усов. При креплении метки на металлическую поверхность её показатели не снижаются, а наоборот, увеличиваются - увеличивается дальность и стабильность регистрации сигналов, скорость обработки информации, увеличивается стабильность основных показателей при различном ориентировании метки относительно антенны считывателя. Антеннам свойственно направленное излучение как в горизонтальной, так и в азимутальной плоскости. Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости составляет 70°, в вертикально 130°. Диапазон частот коэффициента отражения - 865-870 МГц, его значение не превышает 32 дБ.

Энергия, полученная от считывателя, запускает работу метки, она передаёт сигнал, воспринимаемый считывателем. Идентификация повреждённых изоляторов происходит путём получения ответного сигнала. В случае,

когда изолятор исправен, сигнал будет получен, в противном случае регистрируют пробой изолятора и принимают меры для устранения его неисправности.

3.2.4 Индикация пробоя с применением стеклянного изолятора

В результате долговременной эксплуатации, в ходе термического старения или вследствие грубой обработки, может произойти разгерметизация пограничной области изолятора. Такое повреждение создаёт условия для проникновения влаги внутрь изолятора, или конденсации атмосферной, создавая очаги формирования электрического разрушения аппарата. Повреждения такого вида у полимерных изоляторов чрезвычайно сложно определить даже при визуальном осмотре с небольшого расстояния. Поэтому индикация таких повреждений предлагается проводить, используя последовательный присоединённый к полимерным тарельчатый изолятор из закалённого стекла с нормированной механической прочностью не ниже, чем у исследуемого.

При образовании внутренних электрических разрядов в полимерных изоляторах на поверхности стеклянного возникнут электрические разряды, интенсивность которых будет эквивалентна интенсивности внутренних разрядов. Таким образом, процессы, возникающие внутри изолятора, проявятся на его поверхности.

Вакантным местом установки тарельчатого изолятора является сторона токопровода, что приведёт к повышенной чувствительности контроля полимерного изолятора, ожидается эффект гашения динамических изгибающих нагрузок на полимерный изолятор и повышение импульсной прочности подвески. Для районов с сильными атмосферными загрязнениями рекомендуется применять тарельчатые изоляторы с гидрофобным покрытием из кремнийорганических эластомеров.

По результатам исследования электрического поля комбинированной гирлянды напряжение стеклянного изолятора резко возрастает к конечной стадии электрического старения полимерного изолятора, что характеризуется

высокой удельной поверхностной проводимостью стеклопластикового стержня при длине участка более 90% от общей длины. На рисунке 29 представлен график зависимости напряжения на изоляторе от длины повреждённого участка.

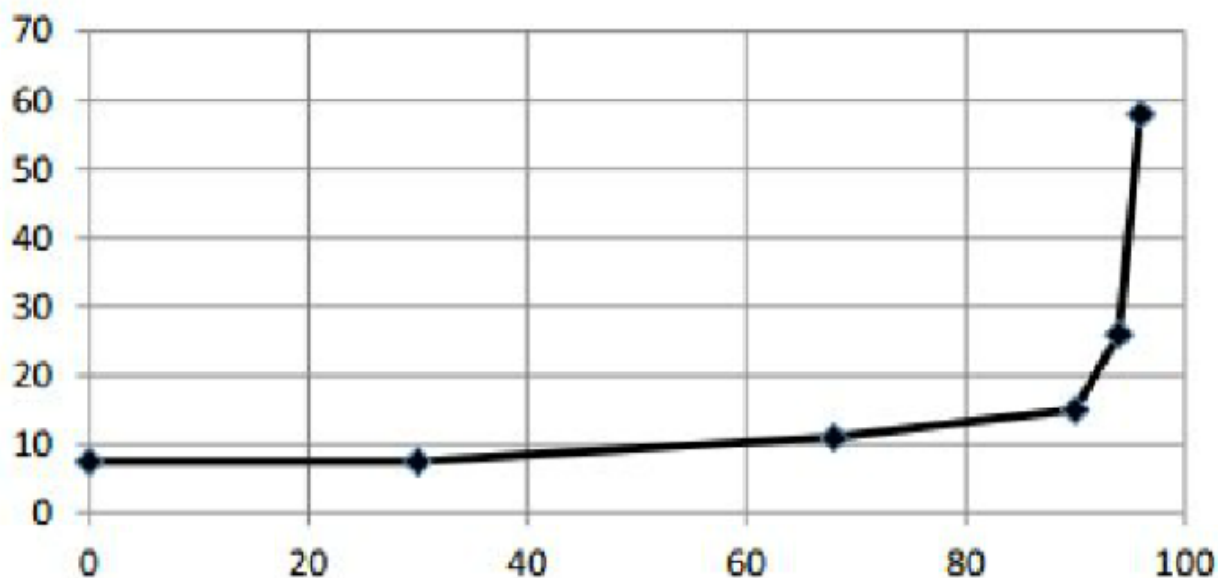


Рисунок 29 – Зависимость напряжения изолятора от длины участка

При повышении напряжения на стеклянном изоляторе будут возникать непрерывные коронные разряды. Впоследствии стеклянный изолятор может быть разрушен либо воздействием длительного интенсивного коронирования, либо в результате действия дугового разряда в момент пробоя полимерного изолятора.

На практике регистрирующими стеклянными изоляторами являются разработки ГП "НИИВН", Славянск, Украина. Они способны регистрировать ток КЗ от 5 до 40 кА, длительность 0.12 с. и более. Индикатор пробоя представляет собой закалённую армированную стеклотель, оснащённую концентратором энергии. Имеет геометрические и весовые характеристики, аналогичные стеклянным изоляторам. При пробое раскручивается плоская лента сигнального элемента, закреплённая на верхнем или нижнем оконцевателе полимера. Такой индикатор невосприимчив к импульсному перекрытию изоляторов, однако не может быть эксплуатирован в зимнее время года. Индика-

тор пробоя может иметь два вида исполнения - как самостоятельный элемент и как комбинированный с полимерным изолятором.

По результатам анализа способов диагностики изоляторов получено, что основными способами диагностики являются: визуальный осмотр, ультрафиолетовый контроль, инфракрасная диагностика и акустический контроль.

Визуальный осмотр позволяет выявить дефекты изоляторов на основании анализа их внешнего вида, однако данным способом невозможно выявить внутренние дефекты. Способ отличается низкой стоимостью его проведения. Инфракрасный, ультрафиолетовый и акустический контроль расширяют возможности диагностики изоляторов, позволяют выявить дефекты на начальной стадии их образования, однако при проведении контроля данными способами требуется дорогостоящее оборудование, а так же возникает необходимость обучения персонала работе с приборами различного типа.

В настоящее время ведётся научная работа по созданию качественных изоляторов, которые могли бы удовлетворить требования надёжности электроснабжения, механической прочности, простоты исполнения, эффективности эксплуатации. Применение различных модификаций индикаторов позволяет уменьшить число аварий, обусловленных дефектом изоляторов.

К сожалению на практике встроенные устройства индикации состояния полимерных изоляторов не нашли широкого применения, полученные результаты являются в большей степени результатами лабораторных испытаний. Так же такие индикаторы не способны выявить начальные стадии зарождения дефектов, поэтому их внедрение в эксплуатацию требует дополнительного анализа методик.

Для расширения области диагностики предлагается комбинировать несколько методов. Например, применение ультрафиолетового, инфракрасного и акустического способов теоретически способны выявить все возможные дефекты изоляторов.

4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОЩНОСТЕЙ

При выполнении работ по проектированию развития электрических сетей или реновации оборудования проводят оценку экономической эффективности работ. Расчёт экономических показателей необходим для оценки финансовой привлекательности проекта и позволяет сделать заключение о необходимости проведения предлагаемых работ.

В настоящей главе произведён расчёт укрупнённых технико-экономических показателей. Предлагаемым мероприятием является проведение диагностики инфракрасным, ультрафиолетовым и акустическим способами. К расчёту приняты аварийные ситуации, рассмотренные в разделе 1.3 настоящей работы, а именно: авария на Рефтинской ГРЭС и авария на ПС "Гранит" Приморского края.

Критериями экономической эффективности были выбраны:

- экономический эффект;
- приведённые затраты;
- дисконтированные затраты;
- ЧД;
- рентабельность.

Выбранные показатели позволяют в полной мере оценить эффективность предлагаемых мероприятий.

4.1 Расчёт экономического эффекта

Одной из основных задач при разработке проектов любой тематической направленности является его экономическое обоснование. Экономические показатели эффективности являются одними из важнейших критериев при принятии решения о целесообразности внедрения новых технических решений. Экономическая эффективность является одной из важных категорий и характеризует результативность деятельности производственной си-

стемы и возможность реализации тех или иных проектов, направленных на улучшение её работы. В современной научной литературе экономическую эффективность определяют как отношение полученных результатов к произведенным затратам или потребленным ресурсам в виде относительного показателя.

В качестве ресурсов реализации проекта выступают: основные фонды, оборотные фонды, трудовые ресурсы, природные и финансовые ресурсы. Затраты характеризуют меру потребления того или иного ресурса в определенный момент времени. Различные виды ресурсов расходуются неравномерно, т.е. имеют различную скорость оборота, при этом возникают сложности точного определения затрат по каждому виду ресурса. Поэтому экономическую эффективность оценивают с помощью показателей, базирующихся как на затратном, так и на ресурсном подходах. Для оценки эффективности проектов и уровня использования ресурсов применяется система показателей общей экономической эффективности производственных систем, включающая обобщающие и частные показатели, и показатели сравнительной эффективности. В зависимости от метода расчета и назначения экономическая эффективность любой производственной системы может быть представлена в виде абсолютной эффективности, отражающей эффективность использования ресурсов или затрат, а также сравнительной эффективности, предназначенной для сравнения и отбора лучших вариантов проектных решений.

Основным показателем экономической целесообразности создания проекта - новой техники, технологии, автоматизированной системы управления, информационной технологии, является экономический эффект, выражаемый в виде прироста прибыли (годовой или за весь период реализации проекта создания технического решения). Создание новых технических решений дает основной эффект за счет увеличения объемов выпускаемой продукции, более экономичного использования ресурсов (основных производственных фондов, оборотных фондов, трудовых ресурсов, финансовых ресурсов), сни-

жая себестоимость продукции. Состав элементов себестоимости, способы их расчета определяются спецификой технического решения.

Методика экономического обоснования технического решения может быть сформирована по-разному и зависит от множества факторов: типа проекта, стадии его жизненного цикла, наличия исходной информации о проекте, необходимости изучения отдельных сторон проекта, предпочтений исследователя и других факторов.

Предлагается схема формирования методики экономического обоснования в зависимости от влияния двух факторов - типа проекта (технического решения) и стадии жизненного цикла. Любой проект в процессе своей реализации проходит различные стадии, образуя жизненный цикл. Если проект касается какого-либо продукта (изделия, машины, оборудования и др.), то при оценке экономической целесообразности разработки такого продукта возникает необходимость учитывать его жизненный цикл

С помощью проведения организационно-технических мероприятий экономический эффект может быть достигнут на каждой из представленных стадий. Экономический эффект Э связан с сокращением трудоемкости стадий технической подготовки производства. Эффект зависит от темпов снижения трудоемкости изделий на стадии освоения и увеличения выпуска новых изделий с основных фондов. Эффект получается за счет производства и использования дополнительного количества более эффективных машин и приборов, выпущенных благодаря ускоренному освоению. Данные виды эффектов, получаемые при ускорении технической подготовки производства и освоения, а также в сфере эксплуатации являются независимыми величинами, поэтому для получения результирующего эффекта могут быть просуммированы.

Унификация проектируемого изделия и технологического процесса, автоматизация подготовки и т.д. позволяют снизить суммарные издержки предприятия по технической подготовке производства. Увеличение выпуска продукции сопровождается снижением себестоимости при плановом уровне

производства вследствие сокращения трудоемкости, уменьшения доли удельных постоянных расходов. Экономия за весь срок использования дополнительного количества изделий обусловлена годовой экономией затрат труда.

Величину экономии можно оценить путем сопоставления приведенных затрат по вариантам техники. Этот метод является достаточно эффективным при сравнении изделий различных классов, имеющих аналогичное назначение, а также при сравнении взаимозаменяемых вариантов принципиально отличных технологических процессов или оборудования. В случае необходимости оценить процесс возмещения инвестиционных ресурсов в разрабатываемый проект технического решения с позиции динамики денежных средств можно, используя инструментальный инвестиционный анализ.

Итак, в зависимости от цели, при оценке экономической эффективности проекта задачи оценки экономической целесообразности можно разбить на две группы: 1 - задачи, связанные с оценкой экономического эффекта технических решений, имеющих аналоги (изучение различных вариантов производства и реализации продукта, сравнение нескольких возможных вариантов технологического процесса изготовления одного типа детали, изучение альтернативных способов инструментального обеспечения систем и т.п.), и связанные с их сравнительной оценкой; 2 - задачи, связанные с оценкой процесса возмещения затраченных средств (инвестиций, капитальных вложений). Эти две задачи не противоречивы и могут решаться одновременно в рамках одного проекта. Например, можно показать, во-первых, что разрабатываемое техническое решение превосходит базовый вариант по величине технологической себестоимости, во-вторых, оценить эффективность инвестиций в освоение данного технического решения с помощью показателей эффективности инвестиций.

Первую группу задач можно решать на основе сравнения показателей трудоемкости, себестоимости, материалоемкости, инвестиционных издержек, приведенных затрат по сравниваемым вариантам, выбрав проект с лучшими

значениями этих показателей. Вторая группа задач исследования экономической целесообразности решается с использованием расчета трудоемкости и себестоимости выполнения всех работ на стадии научно-исследовательской и технической подготовки производства, а также оценкой экономической эффективности инвестиций в проект.

Обобщенная методика оценки экономической эффективности конкретного проекта технического решения может быть скомпилирована из отдельных методов. Каждая из выделенных групп методов обладает рядом достоинств, предпочтительной областью применения, долей конструктивности и возможностью интегрирования в стратегию развития производственной системы.

Технические решения, для оценки экономической эффективности которых используются одинаковые по содержанию методы оценки, объединены в однородный класс - новая техника. К этому классу можно отнести такие технические решения, как новое изделие, новая конструкция, автоматизированная система управления, информационная технология. Методы, используемые для оценки эффективности новой техники, отличаются друг от друга спецификой расчета отдельных показателей, но эти методы и методики являются похожими для всех видов новой техники.

Системный эффект будет обусловлен снижением ущерба от недоотпуска электрической энергии в сеть. Тогда его величина будет рассчитана по формуле [42]:

$$U = \Delta W \cdot c_{э.э.}, \quad (2)$$

где U - ущерб от недоотпуска электроэнергии;

ΔW - величина недоотпущенной электроэнергии;

$c_{э.э.}$ - стоимость электроэнергии.

При отсутствии данных о величине недоотпуска электроэнергии в сеть можно использовать недоотпущенную электрическую мощность. Тогда формула примет вид:

$$U = P_{неод.} \cdot T_{неод.} \cdot C_{э.э.}, \quad (3)$$

где $P_{неод.}$ - недоотпущенная мощность;

$T_{неод.}$ - время недоотпуска.

Авария на Рефтинской ГРЭС привела к недоотпуску 5.8 тыс. Мвт мощности, время отключения составило 16 часов. Стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу составляет 3.96 руб./кВт·ч. Тогда недоотпуск электроэнергии составил:

$$U_{ГРЭС} = 5800 \cdot 8 \cdot 3.96 = 367.49 \text{ млн. руб.}$$

Авария в Приморском крае привела к недоотпуску мощности величиной 7 МВт в течение 3.5 часов. Одноставочный тариф на электроэнергию в Приморском крае составляет 3.74 руб./кВт·ч. Ущерб от недоотпуска электроэнергии составил:

$$U_{Прим.} = 7 \cdot 3.5 \cdot 3.74 = 0.092 \text{ млн. руб.}$$

4.2 Расчёт затрат на проведение диагностики

Величина суммарных дисконтированных затрат используется для сравнительного анализа вариантов, равных по результатам, то есть количеству и качеству реализуемой продукции.

Наилучшим считается вариант, которому соответствует минимум дисконтированных затрат. Выбранный вариант должен быть обязательно проверен по приведенным критериям - чистый доход, чистый дисконтированный доход, рентабельность проекта.

В тех случаях, когда при реализации сравниваемых вариантов производится разный объем продукции и привести их в сопоставимый вид невоз-

можно, при анализе используется показатель удельных дисконтированных затрат.

Наилучшим является вариант, которому соответствует минимальное значение показателя удельных затрат. Полученное значение сопоставляют со средними ценами на продукцию.

Основное условие получения объективной оценки экономической или финансово-экономической эффективности инвестиционных проектов - системность анализа, т.е. рассмотрение всего комплекса показателей.

Экономическую эффективность проекта определяют исходя из характеристик денежных потоков, которые он генерирует, т.е. интенсивность и особенности их изменения во времени по годам расчетного периода, а также соотношение между действительной и текущей стоимостью составляющих доходов и расходов.

При расчёте укрупнённых технико-экономических показателей дисконтированные затраты могут быть найдены по формуле:

$$Z = E \cdot K + I , \quad (4)$$

где Z - дисконтированные затраты на предлагаемые мероприятия;

E - норматив дисконтирования затрат;

I - величина издержек.

Предлагаемыми мероприятиями выступают диагностические исследования с применением акустического, ультрафиолетового и инфракрасного оборудования. В расчёте принято, что оборудование будет закуплено единовременно в базовый год и в полном объёме, тогда величина дисконтированных капиталовложений будет равна величине приведённых капиталовложений.

$$Z = K + I \quad (5)$$

Издержками будут выступать отчисления, необходимые на обучение персонала и проведение диагностических мероприятий.

Стоимость тепловизора марки Guide B256V составляет 169 тыс. руб., электронно-оптического дефектоскопа ФИЛИН-6 630 тыс. руб., прибора акустико-эмиссионного контроля марки ПАК-3М - 377.58 тыс. руб.

При расчёте величины издержек выявлено, что отчисления составляют 8-10% от величины капитальных вложений в оборудование. Тогда приведённые затраты будут рассчитаны по формуле:

$$З = \sum_{n=1}^3 K_n \cdot 1.1 \quad (6)$$

$$З = (169 + 630 + 377.58) \cdot 1.1 = 1.29 \text{ млн. руб.}$$

4.3 Расчёт чистого дохода

Чистым доходом является прибыль компании до выплаты дивидендов. Чистый доход рассчитывается путем корректировки дохода от реализации на величину расходов, связанных с ведением бизнеса, амортизации, процентов, налогов и прочих расходов. Эту величину можно найти в отчете о прибылях и убытках компании, и она является важным показателем того, насколько прибыльной является компания в течение определенного периода времени. Этот показатель также используется, чтобы вычислить прибыль на акцию.

Чистый доход рассчитывается, начиная с общего дохода от реализации компании. Из последнего вычитают себестоимость реализованной продукции, наряду с любыми другими расходами, которые понесла компания в течение отчетного периода, получая в результате прибыль до уплаты налогов. Затем из этой суммы вычитаются налоги, чтобы получить величину чистого дохода. Чистый доход, как другие бухгалтерские показатели, восприимчив к манипуляциям через такие вещи, как агрессивное признание доходов или сокрытие расходов. Основывая инвестиционное решение на величине чистого

дохода, важно рассмотреть качество показателей, которые использовались, чтобы рассчитать его величину.

Чистым доходом называют разницу потока дохода, обусловленного экономическим эффектом, и затратами на проведение мероприятий [42]:

$$\text{ЧД} = \sum (\text{Э} - \text{З}) \quad (7)$$

С учётом принятых выше условий чистый доход будет рассчитан, как разность снижения экономического ущерба и приведёнными затратами на диагностику:

$$\text{ЧД} = \text{У} - \text{З} \quad (8)$$

Чистый доход для мероприятий в районе Рефтинской ГРЭС составит:

$$\text{ЧД}_{\text{ГРЭС}} = 367.49 - 1.29 = 366.2 \text{ млн. руб.}$$

Чистый доход для мероприятий в Приморском крае составит:

$$\text{ЧД}_{\text{Прим.}} = 0.092 - 1.29 = -1.198 \text{ млн. руб.}$$

Чистый доход от проведения мероприятий в Приморском крае оказался убыточным, что сигнализирует о превышении затрат на мероприятия над системным эффектом.

4.4 Расчёт рентабельности проекта

Большинство инвесторов, прежде чем вкладывать деньги в инвестиционный проект, определяют целесообразность своих вложений, определяют ожидаемую эффективность проекта, ожидаемую рентабельность инвестиций. Если у инвестора есть на выбор несколько инвестиционных проектов, при ограниченности средств инвестирования, он выбирает наилучший, используя сравнительный показатель рентабельности инвестиций.

Рентабельность инвестиций - коммерческий показатель, интересующий владельца сети. Рентабельность рассчитывается по каждому году расчетного

периода после начала эксплуатации электросетевого объекта или только по некоторым характерным годам. Характерным годом принят год ввода в эксплуатацию диагностического оборудования. Рентабельность инвестиций оценивается по формуле:

$$R = \frac{\mathcal{E} - I}{K} \quad (9)$$

Ввиду принятых выше допущений формула примет вид:

$$R = \frac{Y - 1.1 \cdot K}{K} \quad (10)$$

Рентабельность проекта для Рефтинской ГРЭС составит:

$$R_{\text{ГРЭС}} = \frac{367.49 - 1.1 \cdot 1.29}{1.29} = 282.9$$

Рентабельность для РГРЭС выше среднего норматива дисконтирования (0.12), что характеризует мероприятия как инвестиционно привлекательные.

Рентабельность проекта для проведения мероприятий в Приморском крае не рассчитана, так как величина чистого дохода сигнализировала о неэффективности применения устройств диагностики.

Все результаты экономического расчёта сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты проведения экономического расчёта

Экономический показатель	Объект	
	Рефтинская ГРЭС	Приморский край
Системный эффект, млн. руб.	367.49	0.092
Приведённые затраты, млн. руб.	1.29	1.29
Чистый доход, млн. руб.	366.2	-1.198

Экономический показатель	Объект	
	Рефтинская ГРЭС	Приморский край
Рентабельность	282.9	-

По результатам расчёта экономических показателей сделан вывод, что проведение диагностических мероприятий эффективно для проведения оценки технического состояния электрического оборудования и аппаратов электрических станций большой мощности или питающих подстанций.

Для распределительных подстанций рекомендуется проводить оценку технического состояния встроенными приборами контроля, что обусловлено низкой стоимостью мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведены исследования причин повреждения электрических сетей и характер ущерба, обусловленный авариями. Приведены классификации электрических изоляторов, применяемые в эксплуатации. Рассмотрены способы оценки технического состояния электрооборудования, выявлены достоинства и недостатки каждого метода. Для действующих электрических подстанций рассчитаны экономические характеристики от проведения диагностических мероприятий.

При анализе современного состояния аварийных ситуаций в электроэнергетике России сделано заключение, что число аварий снижается по годам эксплуатации. Однако величина ущерба, выраженного недоотпуском электроэнергии, сигнализирует о необходимости проведения оценки технического состояния, в частности полимерных изоляторов. Помимо экономического ущерба, аварии способны привести к угрозе безопасности населения, угрозе жизни, транспортному коллапсу, информационной блокаде.

В работе приведены классификации всех видов изоляторов, эксплуатируемых на предприятиях. Выявлены достоинства и недостатки их применения, рассмотрены вероятные причины их повреждений. Раскрыты возможности проведения исследований технического состояния электрических аппаратов с применением приборов контроля и встроенных методов. Приведены примеры их применения, выделены достоинства и недостатки каждого способа, оговорены примеры их комплексного применения.

По результатам расчёта экономических показателей сделан вывод о целесообразности проведения диагностических мероприятий. Получено, что проведение диагностических мероприятий эффективно для мощных электрических станций и питающих подстанций. Для распределительных ПС наиболее эффективным методом оценки технического состояния являются методы встроенной диагностики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Жабриков, Владимир. Энергосистема Сибири перешла в изолированный режим из-за аварии на Рефтинской ГРЭС. ТАСС. [В Интернете] 22 августа 2016 г. <https://tass.ru/proisshestviya/3557676>.

2 Министерство энергетики Российской Федерации. [В Интернете] Подведены итоги выездных проверок технического состояния объектов электроэнергетики за 2018 год, 01 января 2019 г. [Цитировано: 18 мая 2019 г.] <https://minenergo.gov.ru/node/13834>.

3 Министерство энергетики Российской Федерации. [В Интернете] В Приморском крае восстановлено электроснабжение, 20 ноября 2018 г. [Цитировано: 18 мая 2019 г.] <https://minenergo.gov.ru/node/13158>.

4 Оперативная информация об аварийных отключениях на объектах электроэнергетики, режимно-балансовая обстановка в ЕЭС России. б.м. : Министерство энергетики Российской Федерации, 2017.

5 Википедия. [В Интернете] 23 ноября 2017 г. [Цитировано: 06 июня 2019 г.] [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_\(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\)%#%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F)%#%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%).

6 Сухарёв, Михаил. На Ставрополье установят причины крупной аварии у химзавода. Российская газета. 18 января 2018 г.

7 Авария в Барнауле случилась из-за хулиганов. [В Интернете] 19 февраля 2011 г. [Цитировано: 06 июня 2019 г.] <https://news.rambler.ru/incidents/9061365-elektroavariya-v-barnaule-sluchilas-iz-za-huliganov/>.

8 Википедия. [В Интернете] 27 мая 2018 г. [Цитировано: 06 июня 2019 г.]

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B2_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5_%D0%B2_%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B5_\(2005\).](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B2_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5_%D0%B2_%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B5_(2005).)

9 Авария, оставившая без света Дальний Восток, произошла из-за короткого замыкания на ЛЭП. [В Интернете] Новости Владивосток, 02 августа 2017 г. [Цитировано: 06 июня 2019 г.] https://www.news1.ru/far_east/2017/08/02/161527/.

10 Причиной блэкаута на Дальнем Востоке стало короткое замыкание на ЛЭП: хронология «конца света». [В Интернете] Амурская правда, 02 августа 2017 г. [Цитировано: 06 июня 2019 г.] <https://www.ampravda.ru/2017/08/01/076328.html>.

11 ЭЛЕКТРОНПРИБОР ФИЛИН-6 - электронно-оптический дефектоскоп. [В Интернете] [Цитировано: 08 июня 2019 г.] <https://www.electronpribor.ru/catalog/113/filin-6.htm>.

12 Кувайцев, В. И. Высоковольтные изоляторы [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС / В. И. Кувайцев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 23 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/50060.html>

13 Полимерные нанокompозиты [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Като, А. Усуки, О. Беккер, Д. П. Саймон. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2011. — 688 с. — 978-5-94836-203-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12733.html>

14 Шахнин, В. А. Энергетическое обследование. Энергоаудит [Электронный ресурс] : курс лекций / В. А. Шахнин. — 3-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М. : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 144 с. — 978-5-4486-0532-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79732.html>

15 Угольников, А. В. Электротехнические материалы [Электронный ресурс] : учебное пособие для СПО / А. В. Угольников. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 81 с. — 978-5-4488-0264-5, 978-5-4497-0023-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82685.html>

16 Игнатович, В. М. Электротехника и электроника: электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие для СПО / В. М. Игнатович, Ш. С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Профобразование, 2019. — 124 с. — 978-5-4488-0037-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83122.html>

17 Угольников, А. В. Электроматериаловедение [Электронный ресурс] : учебник для СПО / А. В. Угольников. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 187 с. — 978-5-4488-0265-2, 978-5-4497-0024-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82686.html>

18 Гусева, Н. В. Экономика энергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Гусева, С. В. Новичков. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 198 с. — 978-5-4497-0008-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82568.html>

19 Волков, Ю. В. Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. В. Волков. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 172 с. — 978-5-4497-0076-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83276.html>

20 Новичков, С. В. Ремонт теплоэнергетического оборудования ТЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Новичков, В. И. Лубков. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 112 с. — 978-5-4497-0007-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82566.html>

21 Лубков, В. И. Проектирование, строительство и монтаж оборудования ТЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. И. Лубков, С. В. Новичков. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 295 с. — 978-5-4497-0015-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82565.html>

22 Шашлов, А. Б. Основы светотехники [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А. Б. Шашлов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Логос, 2016. — 256 с. — 978-5-98704-586-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66422.html>

23 Кобенко, Ю. В. Крупнейшие аварии на энергообъектах. Причины и последствия [Электронный ресурс] : учебное пособие для изучения немецкого языка / Ю. В. Кобенко. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Томск : Томский политехнический университет, 2016. — 124 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83965.html>

24 Зацепин, А. Ф. Акустический контроль [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Ф. Зацепин ; под ред. В. Е. Щербинин. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 212 с. — 978-5-7996-1818-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68219.html>

25 Энергосберегающие технологии в энергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Бубенчиков, Т. В. Бубенчикова, С. С. Гиршин [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Омск : Омский государственный технический университет, 2017. — 142 с. — 978-5-8149-2561-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78496.html>

26 Тремясов, В. А. Теория надежности в энергетике. Надежность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Тремясов, Т. В. Кривенко. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2017. — 164 с. — 978-5-7638-3749-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/84157.html>

27 Захаров, О. Г. Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах [Электронный ресурс] : учебно-практическое пособие / О. Г. Захаров. — Электрон. текстовые данные. — М. : Инфра-Инженерия, 2017. — 208 с. — 978-5-9729-0146-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69004.html>

28 Потери энергии в электрических сетях и установках [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. В. Маслакова, А. А. Митрофанов, Е. А. Чашин, Ю. А. Шурыгин. — Электрон. текстовые данные. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. — 79 с. — 978-5-88247-875-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83185.html>

29 Угольников, А. В. Метрология. Электрические измерения [Электронный ресурс] : практикум / А. В. Угольников. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 140 с. — 978-5-4497-0019-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82232.html>

30 Красько, А. С. Электроматериаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Красько, С. Н. Павлович, Е. Г. Пономаренко. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 212 с. — 978-985-503-443-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67797.html>

31 Пашкевич, Л. Н. Ремонт и обслуживание электрооборудования. Средства контроля [Электронный ресурс] : пособие / Л. Н. Пашкевич, С. И. Русакович. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 32 с. — 978-985-503-491-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67731.html>

32 Осадчий, В. А. Ремонт и обслуживание электрооборудования. Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Осадчий. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 116 с. — 978-985-503-449-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67732.html>

33 Коломиец, Н. В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В.

Коломиец, Н. Р. Пономарчук, Г. А. Елгина. — Электрон. текстовые данные. — Томск : Томский политехнический университет, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>

34 Ушаков, В. Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Я. Ушаков, Н. Н. Харлов, П. С. Чубик. — Электрон. текстовые данные. — Томск : Томский политехнический университет, 2015. — 283 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55203.html>

35 Пасютина, О. В. Охрана труда при технической эксплуатации электрооборудования [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. В. Пасютина. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 116 с. — 978-985-503-459-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67710.html>

36 Лагута, С. А. Оборудование электростанций и сетей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : пособие / С. А. Лагута. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 84 с. — 978-985-503-442-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67671.html>

37 Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин, Д. А. Глушков. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 64 с. — 978-5-7996-1493-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68237.html>

38 Семенова, Н. Г. Электроснабжение с основами электротехники. Часть 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. Г. Семенова, А. Т. Раимова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 127 с. — 978-5-7410-1876-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78928.html>

39 Бенько, В. И. Электроматериаловедение. Средства контроля [Электронный ресурс] : пособие / В. И. Бенько, С. И. Русакович. — Электрон. текстовые данные. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 16 с. — 978-985-503-502-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67796.html>

40 Электрические аппараты [Электронный ресурс] : методические указания к практическим работам / сост. Т. В. Синюкова. — Электрон. текстовые данные. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 13 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57625.html>

41 Собурь, С. В. Пожарная безопасность объектов электроэнергетики [Электронный ресурс] : справочник / С. В. Собурь ; под ред. С. В. Собурь. — Электрон. текстовые данные. — М. : ПожКнига, 2015. — 160 с. — 978-5-98629-069-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/38571.html>

42 Воронцова, О. А. Основы механического расчета опор воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / О. А. Воронцова, Т. В. Дружинина, А. А. Мироненко. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 60 с. — 978-5-7996-1398-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66182.html>

43 Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л., Файбисович; Файбисович Д.Л. — Москва, Россия ЭНАС, 2012. — с. 329.