

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

На правах рукописи

СМИРНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА

УДК А (043. 3) + 625.315.1
С50

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация на соискание научной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Горохов Евгений Васильевич
доктор технических наук, профессор

Идентичность всех экземпляров заверяю:
ученый секретарь специализированного
ученого совета 02.2.001.02 (93.0.000.06)

С.В. Лахтарина

Макеевка 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЛ	12
1.1. Действительное техническое состояние электрических сетей.....	12
1.2 Анализ конструктивных решений металлических опор ВЛ.....	18
1.3. Обзор выполненных исследований по оптимизации реконструкции ВЛ с учетом надежности энергоснабжения потребителей	29
1.3.1. Анализ методов определения остаточного ресурса объекта	29
1.3.2. Анализ работ по оптимизации реконструкции ВЛ	32
1.4. Выводы по разделу 1.....	38
РАЗДЕЛ 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИИ ОПОРЫ С НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ В ВИДЕ ВЫГИБОВ РЕШЕТКИ ИЗ ПЛОСКОСТИ ГРАНЕЙ	39
2.1. Основные принципы расчета надежности.....	39
2.2. Описание объекта исследования.....	46
2.3. Численные исследования конструкции опоры в ПК «ЛИРА-САПР»	50
2.4. Анализ живучести конструктивной схемы опоры ВЛ.....	54
2.5. Выводы по разделу 2	58
РАЗДЕЛ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНКЕРНОЙ ОПОРЫ У220+9 С НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	60
3.1. Цели и задачи экспериментальных исследований	60
3.2. Натурные испытания опоры У220-2р +9 для выявления зависимости влияния несовершенств на конструкцию.....	61
3.3. Анализ действительной работы конструкции с несовершенствами	71

3.4. Экспериментальные исследования конструкции опоры У220-2р+9 в аэродинамической трубе МАТ-1 ДонНАСА.....	74
3.4.1. Факторы приводящие к аэродинамическим исследованиям.....	74
3.4.2. Распределение скорости масштаба турбулентности в рабочем канале МАТ-1.....	76
3.4.3. Система сбора и обработки данных	77
3.4.4. Распределение скорости масштаба турбулентности в рабочем канале МАТ-1.....	79
3.4.5. Программа исследований на тензометрических весах.....	80
3.5. Выводы по разделу 3.....	82
РАЗДЕЛ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ВЛ С УЧЕТОМ ПОВТОРЯЕМОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.....	83
4.1. Анализ потока отказов высоковольтных линий электропередач.....	83
4.2. Методологические аспекты определения остаточного ресурса.....	88
4.3. Основные положения.....	91
4.4. Определения предельных нагрузок на металлическую опору.....	94
4.5. Выводы по главе 4.....	98
РАЗДЕЛ 5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ОПОР ВЛ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	99
5.1. Структура системы мониторинга технического состояния ВЛ.....	99
1.5.1. Рекомендации по проведению мероприятий необходимых для технологической и эксплуатационной безопасности ВЛ	99
5.1.2. Блок учета данных о техническом состоянии воздушной линии электропередачи.....	106
5.1.3. Блок учета несовершенств.....	107
1075.2. Организация технического надзора за состоянием сооружений и паспортизация электросетевых объектов.....	108

5.3. Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности.....	111
5.4. Экономическая эффективность обеспечения безопасности эксплуатируемых ВЛ на принципах страховой ответственности	118
5. Выводы оп разделу 5.....	123
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	125
Литература	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акты и справки внедрения результатов диссертационной работы.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Дефекты и повреждения металлических опор ВЛ	153.
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Сметная документация	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Высоковольтные линии электропередачи (ВЛ) – это сложные системы, которые состоят из ряда составляющих: концевые, угловые, промежуточные опоры, провода, изоляторы, арматура. ВЛ являются самыми ненадежными элементами электроэнергетической системы, так как они имеют большую протяженность, проходят по открытой местности, подвержены атмосферным и антропогенным воздействиям. Задача по обеспечению надежного и качественного электроснабжения и экономической эффективности сводится к установлению уровня надежности ВЛ с экономической обоснованностью, сохранности ВЛ при авариях, исключающих каскадные разрушения, и обеспечении безопасности при строительстве и эксплуатации. Вполне определяемо, что вероятность выживания системы при одинаковой надежности компонентов равна произведению вероятностей выживания каждого компонента. Координация прочности элементов системы ВЛ сводится к следующим критериям: повреждение первого компонента должно исключать догружение последующего, чтобы избежать каскадного разрушения; время и стоимость ремонта должны быть минимальны. Таким образом определяющими в системе ВЛ являются анкерные, анкерно-угловые и концевые опоры, как элементы влекущие наибольшие последствия для нормальной передачи электроэнергии потребителям.

Основная масса аварий электросетевых конструкций происходит из-за несвоевременно проведенных работ по восстановлению дефектов и повреждений, полученных как в результате неправильного монтажа, так и процесса эксплуатации. Это связано, прежде всего, с имущественной обособленностью владельцев, а так, как наиболее реальным способом возмещения ущерба в случае наступления аварийного события является страхование, которое основано на данных экспертной оценки технического состояния, а, следовательно, и остаточного ресурса, то определяющую роль

при дальнейшей эксплуатации таких объектов имеет задача не только обеспечения надежности и долговечности конструктивных составляющих и линии в целом, но и создание денежного фонда целевого назначения, средства из которого направлялись бы на мероприятия по инженерной защите и возмещение убытков вследствие аварий строительных конструкций.

Таким образом, решение задач, связанных с обеспечением надежности в период эксплуатации опор ВЛ, а также созданием единой системы оценки показателей ресурса, является весьма актуальной.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена в рамках госбюджетных работ (заказчик - министерство образования и науки Украины) Д2-01-06 «Разработка научных основ создания оптимальных пространственных конструкций повышенной надежности»,

- Д2-01-06 «Мониторинг и повышение надежности воздушных линий электроснабжения при воздействии гололедно-ветровых нагрузок и воздействий» (2006-2008 гг., гос. рег. №0106 U 002950);

- Д 2-01-09 «Разработка научных и методических подходов к обоснованию моделей эксплуатационных нагрузок и воздействий, которые используются в мониторинге уникальных строительных конструкций» (2009-2010 гг., гос. рег. №0109 U 003037).

Кафедральных госбюджетных научно- исследовательских работ:

- К-2-08-06 «Усовершенствование формообразования металлических конструкций на основе диагностики и мониторинга остаточного ресурса, экономико-математическое моделирование режима эксплуатации зданий и сооружений» (2006-2010гг., гос. рег. №0107 U 000101);

- К-2-08-16 «Современные подходы к формообразованию и обеспечению надежности строительных металлоконструкций на основе использования новых информационных технологий в процессе проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации» (2016-2020гг., гос. рег. №0117 D 000263);

- К-2-08-21 «Разработка методов формообразования, расчета и обеспечения надежности зданий и сооружений с металлическим каркасом на основе выполнения численных и экспериментальных исследований» (2021-2025 гг., гос. рег. №0121 D 000082).

Целью исследования является решение проблемы эксплуатационной надежности металлических опор ВЛ на основе определения ресурса объекта с учетом специфики работы элементов с несовершенствами.

Задачи исследования:

- ◆ исследование влияния несовершенств на несущую способность конструкций металлических опор ВЛ;
- ◆ разработка методики испытаний и проведения экспериментальных исследований поведения опоры ВЛ, имеющей несовершенства;
- ◆ разработка методики, позволяющей определить предельные нагрузки на существующие конструкции опор ВЛ для оценки остаточного ресурса объекта;
- ◆ усовершенствование оценки технического состояния электросетевых конструкций;
- ◆ разработка предложения по корректировке страховых тарифов в зависимости от фактического уровня конструктивной безопасности.

Объект исследования – металлические башенные опоры воздушных линий электропередач (анкерные, угловые и концевые).

Предмет исследования – показатели надежности металлических башенных опор ВЛ с учетом влияния несовершенств конструкции.

Методы исследований:

- ◆ – методы теоретической и прикладной механики;
- ◆ – методы численного моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ);
- ◆ - экспериментальный электротензометрический метод исследования;

- ◆ - метод физического моделирования с использованием методов подобия;
- ◆ – методы математической статистической обработки экспериментальных данных.

Научная новизна полученных результатов.

Краткое содержание научных положений и результатов, полученных автором, состоит в следующем:

- ◆ по результатам обследований установлены наиболее повреждаемые элементы конструкций опор ВЛ, дана оценка их влияния на НДС отдельных элементов и конструкции в целом;
- ◆ по результатам экспериментальных исследований выявлены особенности реальной работы элементов с конструктивными несовершенствами в виде общих искривлений решетки в пределах одной панели;
- ◆ установлен принцип определения остаточного ресурса конструкций ВЛ на основе конструктивной безопасности с учетом повторяемости климатических нагрузок;
- ◆ в зависимости от фактического уровня конструктивной безопасности разработка предложения по корректировке страховых тарифов
- ◆ даны новые технические решения, защищенные патентами, по усилению и ремонту электросетевых конструкций.

Практическое значение результатов исследований. Разработанные методики позволили упростить определение остаточного ресурса объекта (из условий повторяемости климатических нагрузок), определить вклад каждой составляющей климатических нагрузок на результирующее напряженно-деформированное состояние элементов металлических опор. В том числе использованы для опор линии электропередач, находящихся в эксплуатационной ответственности технической единицы «Харцызские электрические сети».

Полученные результаты позволили разработать рекомендации по предоставлению страховым организациям информации для дальнейшего создания денежного фонда целевого назначения.

Даны новые технические решения, защищенные патентами, по усилению и ремонту электросетевых конструкций.

Внедрение результатов работы. Результаты исследований были использованы:

– для разработки проектных предложений по обследованию, реконструкции и усилению металлических опор линии электропередач, находящихся в эксплуатационной ответственности технической единицы «Харцызские электрические сети»;

– в учебном процессе в качестве учебного материала по таким дисциплинам: Б1.В.ДВ.08.01 «Металлические конструкции (спецкурс)» (в 7 семестре, объемом 2 з.е.), Б1.В.09 «Обследование зданий и сооружений» (в 8 семестре, объемом 2 з.е.) для направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство»; Б1.В.ДВ.05.01 «Испытание и обследование конструкций зданий и сооружений» (в 1 семестре, объемом 4 з.е.); Б1.В.04 «Расчет и проектирование зданий и сооружений» (во 2 семестре, объемом 3 з.е.); Б1.В.ДВ.04.01 «Расчет и проектирование усиления строительных конструкций» (во 2 семестре, объемом 3 з.е.) для направления подготовки 08.04.01 «Строительство», программа «Теория и проектирование зданий и сооружений (МК)», что отображено в учебных планах и рабочих программах дисциплин (модулей).

- получены два патента на варианты усиления баз и фундаментов металлических решетчатых опор.

Личный вклад соискателя. Приведенные в диссертационной работе результаты исследований получены соискателем самостоятельно. Личный вклад автора состоит в следующем:

– разработка всех методик и выполнение численных экспериментов, приведенных в диссертации;

- статистическая обработка информации, полученной при проведении численных исследований;
- непосредственное участие в проведении натурных обследований, испытаний и лабораторных исследованиях;
- разработка рекомендаций по предоставлению экспертной информации для дальнейшего страхования объекта;
- систематизация и научный анализ полученных результатов.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях и семинарах:

- Вторая международная конференция «Многогранные гнутые стойки (МГС)» (Днепропетровск, 2007);
- Научно-практическая конференция «Реконструкция действующих подстанций, воздушных и кабельных линий электропередачи в условиях возрастания возможностей энергопотребления» (Макеевка, 2008);
- IX Всероссийская выставка Научно-технического творчества молодежи. I Международная научно-практическая конференция « Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва, 2009)
- VIII Международная научная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» (Макеевка, 2009).
- Международная научно-техническая конференция к 50-летию ГОУ ВПО «ДонНАСА» «Оптимальное проектирование зданий и сооружений с учетом требований долговечности, надежности и эксплуатации» (Макеевка, 2022).

Публикации. Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы опубликованы в 14 научных работах, из них 9 включены в международные наукометрические базы, 1 в отраслевом нормативном документе, 2 патентах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и 3 приложения. Общий объём диссертационной работы – 184 страниц, в том числе 101 страница основного текста, список использованных источников на 23 страницах, 49 рисунков и 9 таблиц на 25 полных страницах, приложений на 34 страницах.

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЛ

1.1. Действительное техническое состояние электрических сетей

В различных отраслях промышленности и социальной сфере широко применяются разнообразные технические устройства, которые требуют непрерывного снабжения электроэнергией для своего нормального функционирования. Бесперебойная подача электроэнергии играет решающую роль в обеспечении надлежащей работы этих устройств. Поэтому поддержание непрерывной работы энергосистемы в целом, а также отдельных распределительных сетей, которые являются последним звеном в цепи обеспечения электрической энергией для потребителей, имеет огромное значение.

Рост числа отказов в электрических системах и необходимость обеспечения достаточного уровня надежности привели к потребности в поиске внебюджетных источников финансирования для поддержания их работоспособности. Это также создало требование предоставления гарантий безаварийной работы в случае изменения владельца энергосистемы. В связи с этим были проведены исследования, фокусирующиеся на анализе надежности и безопасности энергосистем в общем и электросетевых конструкций в частности.

Проблема обеспечения надежности электрических систем является ключевой задачей, требующей определения и оптимизации их показателей на всех этапах жизненного цикла: планирования, проектирования, строительства и особенно эксплуатации. Особое внимание уделяется состоянию более 30% существующих линий электропередач, которые были введены в эксплуатацию более 40 лет назад. В результате прошедшего времени и длительной эксплуатации, конструкции этих линий подверглись около 40% износу. [3,6,7,16,26,28,31,54,64,80,94,111,127,133,144].

В течение последнего десятилетия было отмечено несколько случаев, когда возникли ограничения по мощности электростанций. Особенно заметно это проявляется на высоковольтных линиях электропередачи с напряжением от 35 до 750 кВ, где происходит значительная доля отказов и отключений электрического оборудования (примерно от 35% до 50%) [3,6,7; 28]. В таблице 1.1 приведены основные причины аварийных ситуаций, которые являются наиболее вероятными. Становится очевидным, что большинство отключений на высоковольтных линиях связано с повреждением проводов и грозозащитных тросов (52%), изоляторов (31%) и опор (13%). Доля отключений, вызванных неисправностями арматуры и других элементов линии электропередачи, составляет 4%. Из этого можно сделать вывод, что *опоры являются достаточно надежными компонентами линий электропередачи, однако, разрушение опор имеет серьезные последствия и сопряжено с значительными затратами на восстановление линии электропередачи и потерей электроэнергии.*

Таблица 1.1 - Распределение отказов по элементам ВЛ

Элементы ВЛ	Поток отказов в % от общего количества	
	Без учета грозовых перенапряжений	С учетом грозовых перенапряжений
Опоры	9	13
Провода и тросы	37	52
Изоляторы	23	31
Арматура	3	4

Указанное распределение причин отключений ВЛ существенно зависит от следующих факторов:

- несвоевременное выявление и устранение ошибок, допущенных при проектировании и строительстве ВЛ.

- низкий уровень организации и культуры эксплуатационно-ремонтного обслуживания ВЛ. Недостаточное внимание к регулярному техническому обслуживанию и ремонту ВЛ может привести к накоплению повреждений и дефектов, которые со временем могут привести к отказу линий;

- недостаточный контроль технического состояния линий и отдельных их конструктивных элементов в ходе эксплуатации (отсутствие системы регулярного мониторинга и диагностики состояния ВЛ);

- недостаточное использование средств борьбы с влиянием природно-климатических факторов на надежность работы ВЛ (недостаточные меры по предотвращению вибрации и пляски проводов и грозозащитных тросов, повышению грозоупорности линий и защите фундаментов опор ВЛ от воздействия агрессивных сред могут привести к повреждению линий и их отказу);

- слабая организация профилактической работы с населением, административным персоналом сельскохозяйственных, лесотехнических и промышленных предприятий по охране ВЛ и предотвращению вандализма.

Все указанные факты явно указывают на проблемы, связанные не только с организацией профилактической работы по охране ВЛ, но и с низким качеством, ограниченными объемами и непостоянством осмотров ВЛ со стороны линейного и инженерно-технического персонала электросетевых предприятий. Часто планирование работ по текущему обслуживанию и ремонту ВЛ осложняется недостаточным заполнением или отсутствием полного объема листов обхода, а также несвоевременным или недостаточно профессиональным анализом полученной информации.

Анализ проблем в области передачи электроэнергии указывает на то, что подобная ситуация сегодня существует на всей территории страны. Это подтверждает необходимость более системного подхода к обеспечению надежности и безопасности ВЛ, а также усиления контроля и профилактических мер по всем этапам эксплуатации электрических сетей. Только таким образом можно достичь снижения частоты отключений, обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии и повысить эффективность работы энергосистем в постсоветском пространстве [6;28,31]. Причем, очевидно, что основным фактором, влияющим на возникновение аварийных ситуаций в энергосистемах страны, являются экстремальные климатические

условия. Каждый год происходит несколько десятков случаев повреждения грозозащитных тросов и проводов, причем половина из них заканчивается обрывами. Особенно опасными являются экстраординарные гололедные и изморозовые отложения на проводах и грозозащитных тросах ВЛ, которые систематически формируются в ряде регионов страны.

Проблема эксплуатации ВЛ становится еще более серьезной в районах, где происходит обильное образование гололеда и ветровые нагрузки. Однако помимо природных явлений, значительное количество отказов связано с физическим износом и старением основных средств. Не снижается число аварийных отключений ВЛ, вызванных актами вандализма, что в совокупности приводит к значительному количеству простоев в электроснабжении.

Важно отметить, что единственным достоверным источником информации о фактическом состоянии линии являются случаи отказов. Однако, в большинстве случаев, статистические данные недостаточны для определения истинных причин аварий из-за отсутствия информации о состоянии объекта до возникновения отказа. Хорошо известно, что аварии редко вызваны единственной причиной. В большинстве случаев авария возникает в результате совпадения двух или более факторов, которые вместе исчерпывают прочностные запасы конструкции.

В таких ситуациях при определении причин аварии указывается наиболее очевидный фактор, что затрудняет определение источников на основе только статистической информации. Обычно удается выявить причину, влияние которой на возникновение аварии можно считать решающим. В исследованиях, посвященных металлическим опорам, проведены анализы статистики отказов [3, 6, 16, 127].

Для более точного определения причин аварий необходимо проводить более детальные и комплексные исследования, включающие информацию о техническом состоянии объекта до аварии, а также анализ взаимодействия нескольких факторов, которые могут привести к аварийной ситуации. Это

поможет улучшить прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций в электросистемах.

С целью определения технического состояния конструкций ВЛ и выявления наиболее значимых несовершенств было обследовано более 1500 км трасс высоковольтных линий, из них более 654 металлических опор из которых 176 анкерно-угловые. По результатам обследования было выявлено, что наиболее распространенным повреждением является коррозия элементов (до 80% опор) и щелевая коррозия узловых соединений (до 55% опор) (от 1мм да 15мм), погнутости и погиби элементов встречаются в 50% опор (от 4мм до 110мм).

Наиболее часто встречающиеся дефекты металлических опор представлены на рисунки 1.1-1.4 и Приложении Б. Наиболее вероятные причины аварий металлических опор ВЛ, проанализированные в [3,6,54,67], представлены на рисунке 1.4.

Проанализировав результаты натурного освидетельствования ряда линий были даны предложения по эффективным способам устранения дефектов и повреждений конструкций и элементов ВЛ [71,72, Приложение Б 4].

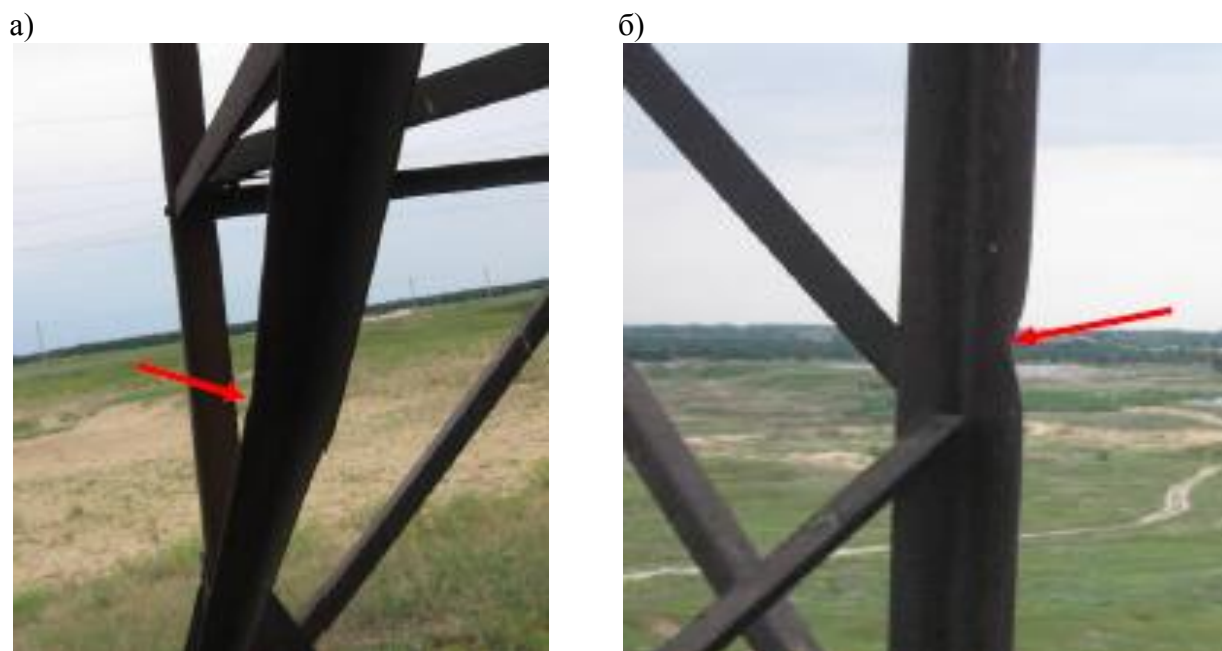


Рисунок 1.1 – Погнутости решетки: а) общая погнутость; б) локальная погнутость

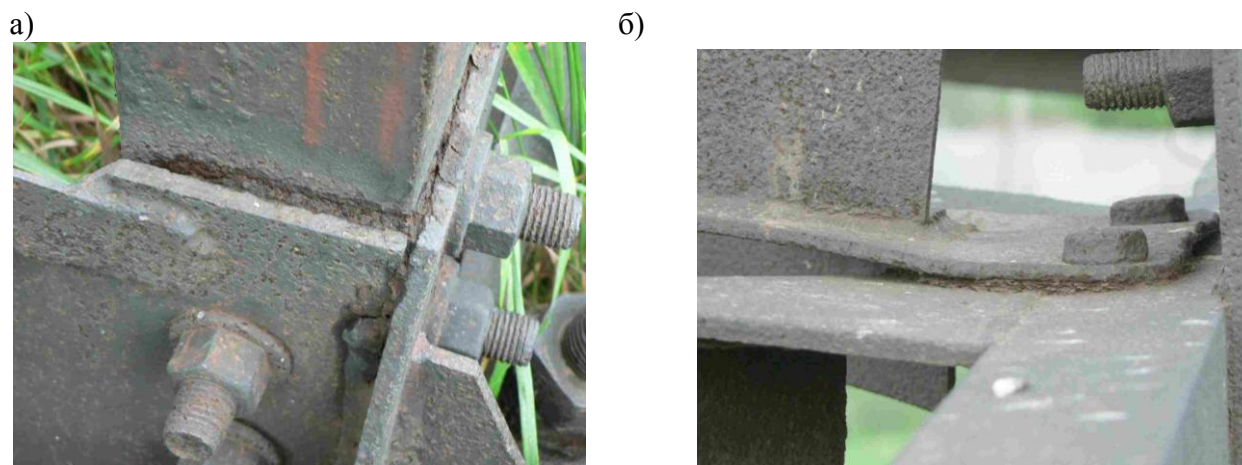


Рисунок 1.2 - Щелевая коррозия в многоболтовых соединениях секций опор:
 а – в узлах примыкания поясов ствола к косынкам баз (башмаков); б – в узлах примыкания диафрагм к распоркам.

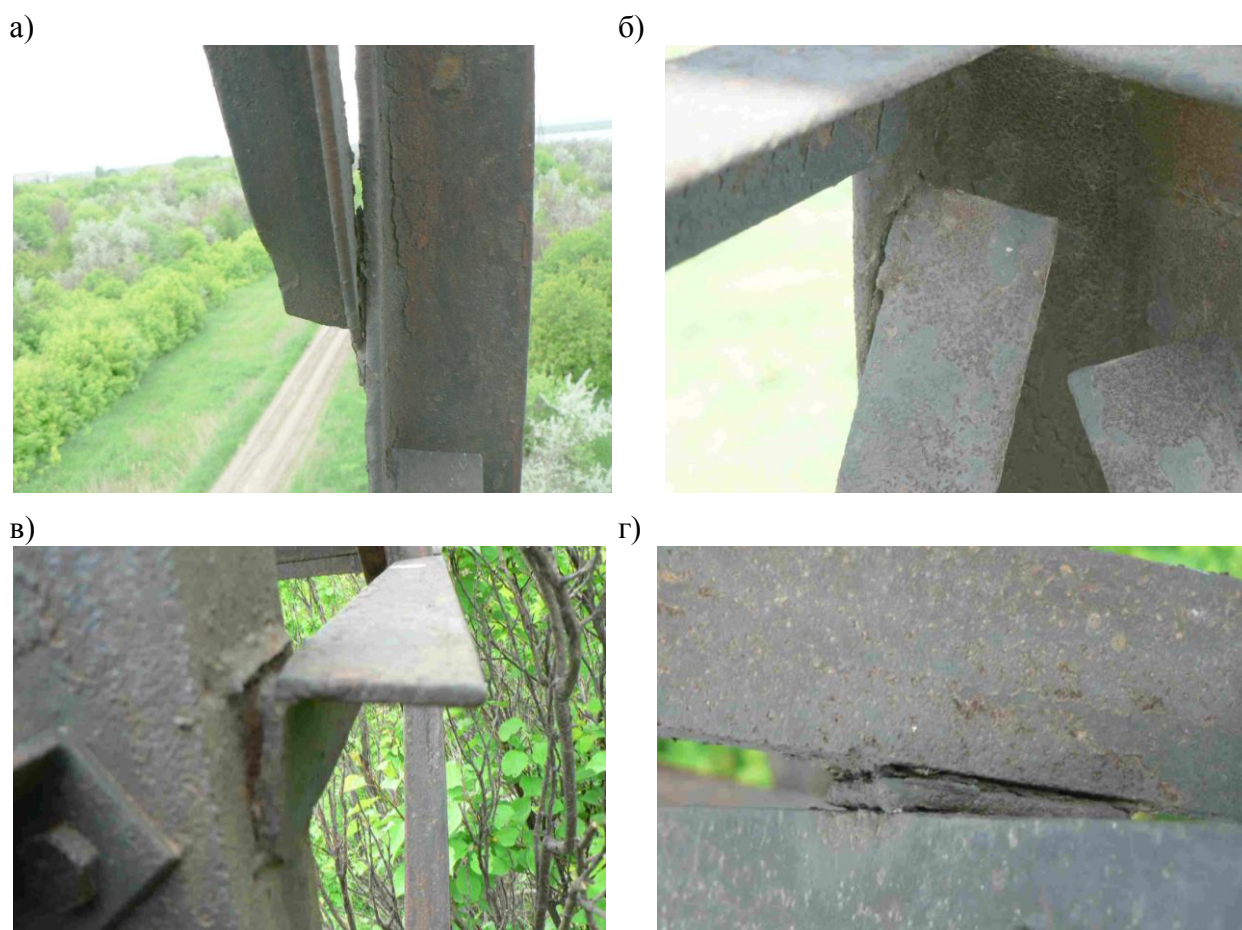


Рисунок 1.3 - Щелевая коррозия в сварных и одноболтовых соединениях решетки опор: а – в узлах примыкания решетки к поясу без появления трещин в сварных швах; б – то же, с разрушением сварного шва; в – с отрывом элемента распорки от пояса; г – в сварных узлах перекрестной решетки.

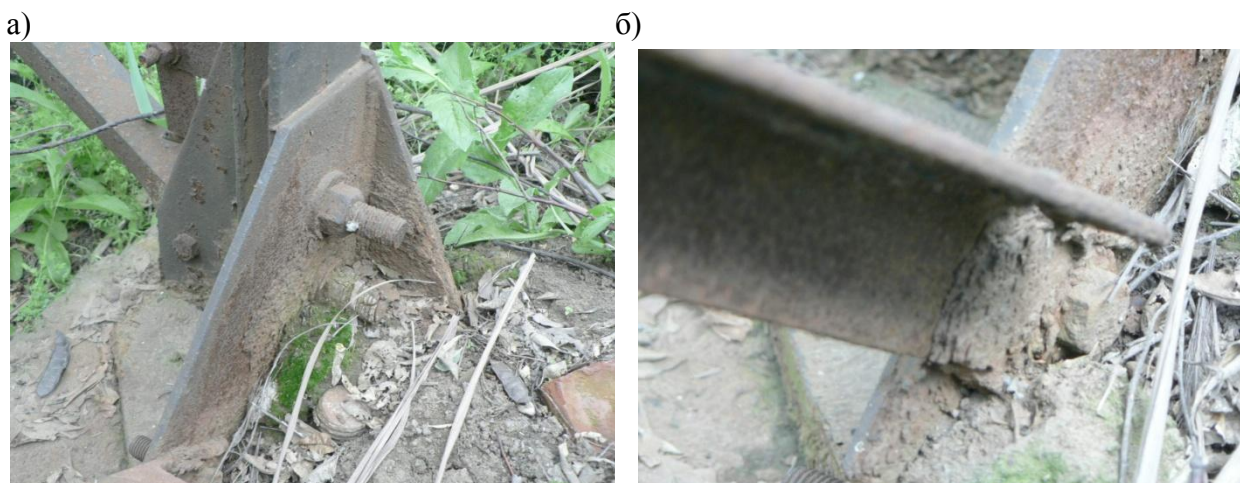


Рисунок 1.4 - Местная коррозия в уровне обреза фундаментов:
а – опорной плиты, косынок базы (башмака); б – опорных раскосов
($l_k=2,5\dots3,0$ мм)



Рисунок 1.5 - Наиболее вероятные причины аварий электросетевых конструкций

1.2 Анализ конструктивных решений металлических опор ВЛ

Воздушные линии электропередачи выполняют важную функцию в передаче и распределении электроэнергии. Они представляют собой систему проводов, которые устанавливаются на открытом воздухе и закрепляются с помощью гирлянд изоляторов и линейной арматуры на опорах [15,76].

Опоры являются неотъемлемой частью конструкции воздушных линий электропередачи. Они предназначены для создания и поддержания линий электропередачи даже при экстремальных температурах наружного воздуха, достигающих до -65°C . Опоры играют важную роль в креплении и подвеске

электрических проводов на определенном уровне от земли и друг от друга [126].

В стране и за рубежом на высоковольтных линиях электропередачи используются различные конструктивные решения для стальных опор [110].

Стальные опоры, применяемые на линиях электропередачи, могут быть классифицированы по конструктивному выполнению ствола на две основные схемы: башенные, или одностоечные (рисунок 1.6), и порталные (рисунок 1.7). Также опоры могут быть классифицированы по способу закрепления ствола на фундаментах на свободностоящие опоры (рисунок 1.6) и опоры на оттяжках (рисунок 1.8). Независимо от конструктивного решения и схемы, стальные опоры всегда представляют собой пространственные решетчатые конструкции.

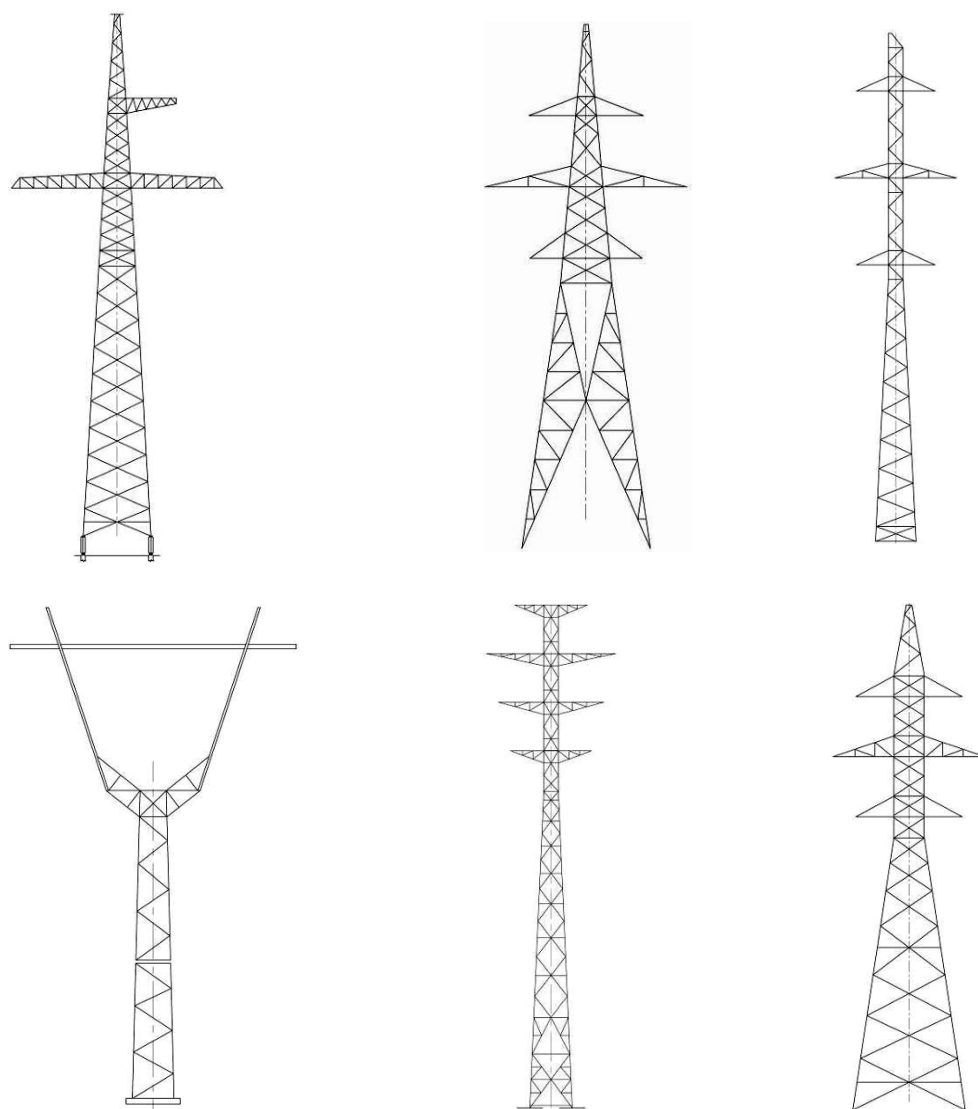


Рисунок 1.6 - Схемы башенных свободностоящих опор ВЛ.

В башенных конструкциях все нагрузки сосредоточены на элементах ствола опоры, поэтому опора должна иметь прочную и развитую базу для эффективного распределения этих нагрузок. В случае опор на оттяжках основные поперечные нагрузки и крутящие моменты передаются оттяжками, что позволяет проектировать стойки опор с более узкой базой и меньшим сечением поясов.

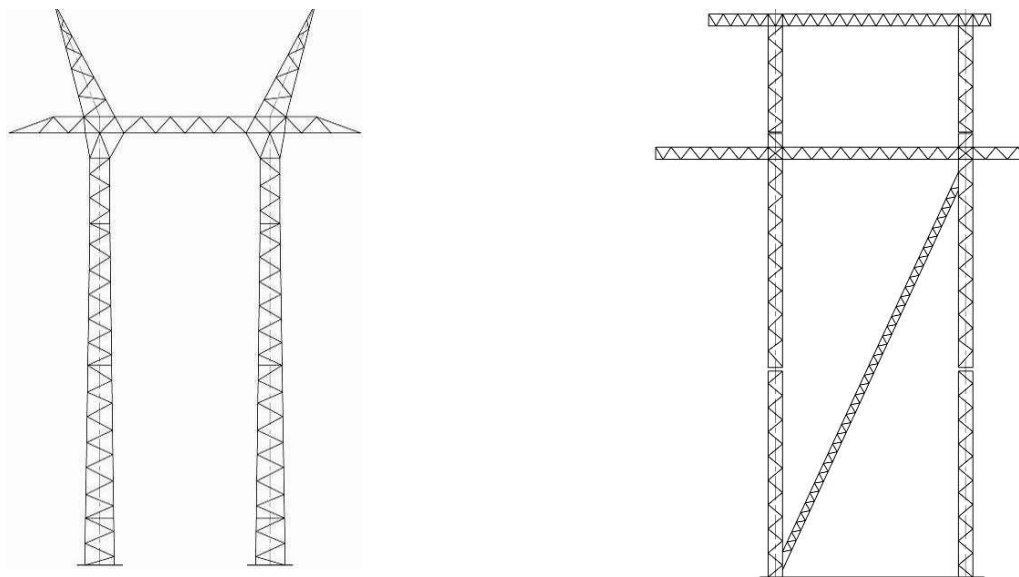


Рисунок 1.7 - Схемы порталных опор

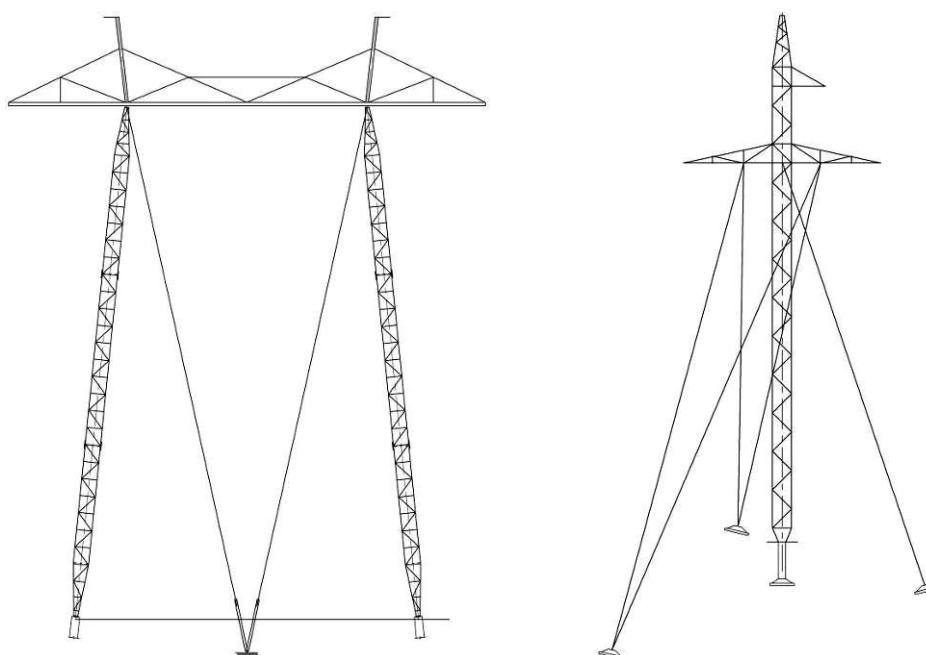


Рисунок 1.8 - Схемы опор на оттяжках.

По назначению на линии могут применяться типы опор, описанные ниже [6,110] (рисунок 1.9).

Концевые опоры располагаются в начале и конце воздушной линии электропередачи, когда линия подключается или отключается от подстанции. От этих опор провода напрямую направляются к порталам. Концевые опоры относятся к типу анкерных опор и в нормальных условиях работы линии полностью переносят одностороннее натяжение проводов и тросов. Кроме того, концевые опоры также устанавливаются на местах, где ограничены кабельные вставки

Анкерные опоры устанавливаются на пересечениях с строениями, сооружениями и в местах, где происходят изменения в сечении, количестве и типах проводов, используемых для передачи электроэнергии. В нормальных условиях работы эти опоры передают усилия, обусловленные разницей натяжения проводов, вдоль направления линии, но, когда анкерные опоры устанавливаются на прямых участках местности без изменения высоты и с одинаковыми пролетами, горизонтальные продольные нагрузки от проводов уравниваются, и опора испытывает только горизонтальные поперечные и вертикальные нагрузки. Анкерные опоры обладают жесткой конструкцией.

Анкерно-угловые опоры устанавливаются в местах, где происходит изменение направления линии передачи электроэнергии, то есть в точках поворота. В нормальных условиях работы эти опоры также воспринимают поперечные нагрузки от натяжения проводов и грозозащитных тросов в смежных пролетах.

Промежуточные опоры устанавливаются в анкерных участках, т. е. между анкерными опорами трассы ВЛ. Эти опоры в нормальных режимах работы воспринимают усилия, направленные поперек ВЛ.

Кроме описанных основных типов опор, на воздушных линиях электропередачи также применяются специальные опоры [6,110]. Эти опоры включают:

- переходные опоры, которые устанавливаются при прохождении линии электропередачи через инженерные сооружения или природные преграды, такие как реки, болота, ущелья и другие. Они обеспечивают безопасный и надежный переход проводов через эти преграды.

- перекрестные опоры, которые используются для пересечения двух линий электропередачи. На этих опорах происходит перекрестное соединение проводов, их изоляция и безопасное пересечение.

- ответвительные опоры, которые устанавливаются для создания ответвления от основной линии. Они позволяют отклоняться от главного направления и передавать электроэнергию на другую линию.

- транспозиционные опоры, которые служат для изменения порядка расположения проводов на опорах. Они позволяют осуществлять перестановку проводов и обеспечивать правильное распределение нагрузки.

- противоветровые опоры, которые усиливают механическую прочность линии электропередачи и предотвращают ее отклонение под воздействием сильных ветров. Эти опоры специально разработаны для повышения устойчивости ВЛ.

Свободностоящие стальные опоры представляют собой основные конструкции, используемые при строительстве воздушных линий электропередачи. По сравнению с опорами на оттяжках, башенные одностоечные опоры обладают более компактными размерами своей базы, что позволяет избежать необходимости отводить большие участки земли, особенно на трассах линий, проходящих через сельскохозяйственные угодья или густонаселенные районы в городских зонах. Ранее, при использовании сварных конструкций, массивность башенных опор усложняла их транспортировку - современное использование болтовых соединений позволило решить эту проблему [110].

В большинстве случаев для изготовления стальных опор применяются равнополочные уголки, для высоких переходных опор может использоваться стальная труба, а в определенных ситуациях может быть выбран и другой тип проката [52].

Ствол опоры состоит из нескольких основных элементов, включая пояса, раскосы решетки и диафрагмы жесткости. При выборе формы сечения ствола, будь то квадратное или прямоугольное, учитывается соотношение различных видов нагрузок, которые действуют как перпендикулярно, так и вдоль оси ВЛ. Квадратные сечения ствола предпочтительны в плане конструктивной простоты и удобства производства, и их выбирают, когда перпендикулярные и продольные нагрузки на ВЛ не сильно отличаются друг от друга [110].

Чтобы улучшить характеристики ствола опоры, инженеры часто применяют шпренгели. Их введение в решетку позволяет выбирать оптимальные сечения элементов таким образом, чтобы радиус инерции увеличивался от минимального к оси, параллельной полке [76]. Это снижает массу конструкции на 11-14% [6,51], что особенно важно для свободностоящих опор, где ствол является самой металлоемкой частью. Более того, в процессе конструирования опоры может быть использовано до пятидесяти различных типоразмеров прокатных уголков или других профилей [126], что позволяет создавать опоры с учетом различных условий эксплуатации и требований.

Решетчатая конструкция ствола опоры высоковольтной линии может быть разных типов и выполняет функцию переноса поперечных сил и крутящих моментов в аварийных ситуациях. При небольших нагрузках на опору можно использовать треугольную сетку или так называемую смещенную на половину панели решетку "в елку". Однако, при больших нагрузках такая конструкция становится неэффективной, и вместо нее применяется перекрестная решетка с узлами, которые могут быть совмещенными или несомещенными в смежных гранях. Это позволяет уменьшить гибкость и, соответственно, сечения поясов. В условиях высоких нагрузок на линии рекомендуется использовать

перекрестные решетки, которые пересекаются по длине в двух или трех точках, обеспечивая дополнительную жесткость.

Во всех сечениях, в которых приложены нагрузки, а также в сечениях с перегибами поясов, устанавливаются диафрагмы жесткости. Диафрагмы необходимы в сечениях с перегибами для принятия горизонтальных усилий и в сечениях с концентрированными нагрузками для равномерного распределения этих нагрузок на все стороны. Согласно рекомендациям [76], в стальных конструкциях опор высоковольтных линий из одиночных уголков диафрагмы следует размещать не реже, чем через каждые 15 метров. В случае стволы шириной до 3 метров диафрагмы жесткости устанавливаются через каждые 8 метров. При использовании более широких прямоугольных стволы, расстояние между диафрагмами может быть увеличено до трехкратной средней ширины наиболее узкой верхней части ствола.

Для подвески токоведущих проводов на опорах высоковольтных линий используются траверсы. В башенных опорах при небольших нагрузках траверсы могут быть плоскими и выполнены из швеллеров без тяг и раскосов. При больших нагрузках траверсы оснащаются тягами, которые принимают растягивающие усилия [76]. Если длина тяги превышает три метра, рекомендуется использовать решетку в вертикальных гранях для предотвращения разрушений, вызванных динамическими воздействиями, такими как проводы, вибрирующие или пульсационные силы ветра. Верхняя грань траверс не требует наличия решетки. Когда имеются распорки в вертикальных гранях в верхней и нижней горизонтальных гранях, рекомендуется также предусматривать распорки [110].

Грозозащитные тросы крепятся на тросостойках, которые обычно представляют собой пространственные конструкции, напоминающие усеченную пирамиду. Тросостойки на опорах башенного типа для одностросовых систем обычно симметричны. Однако, на двухцепных анкерно-угловых и промежуточных опорах иногда используются несимметричные тросостойки, чтобы разместить грозозащитные тросы вдоль оси опоры [52].

Для соединения элементов опор используются как болты, так и сварка. При использовании болтовых конструкций опор, которые транспортируются в виде отдельных элементов и собираются на месте, размеры секций не ограничиваются габаритами транспорта. Это позволяет создавать более легкие конструкции с развитым стволом [52]. Болтовые соединения особенно удобны для оцинкованных конструкций, которые все чаще используются благодаря снижению затрат на покраску во время эксплуатации. Недостатком болтовых опор по сравнению со сварными является более высокий уровень трудозатрат при сборке на месте установки. Однако, несмотря на это, общие трудозатраты сокращаются благодаря уменьшению затрат на транспортировку и исправление поврежденных стержней сварных секций, которые могут возникнуть во время транспортировки [126].

Схемы башенных свободностоящих опор ВЛ, применяемые за рубежом, показаны на рисунке 1.10.

За рубежом на воздушных линиях электропередачи используются различные типы опор, включая одностоечные (рисунки 1.11, 1.12, 1.13) и порталные (рисунок 1.14) опоры, как свободностоящие, так и с оттяжками. Одной из наиболее распространенных промежуточных опор является опора типа "кошачья голова" (рисунок 1.13). В странах Западной Европы опоры с оттяжками не получили широкого распространения из-за значительного пространства, которое они занимают. Однако в странах Латинской Америки, Канаде и США опоры с оттяжками широко применяются благодаря некоторым преимуществам, которые они обладают [155].

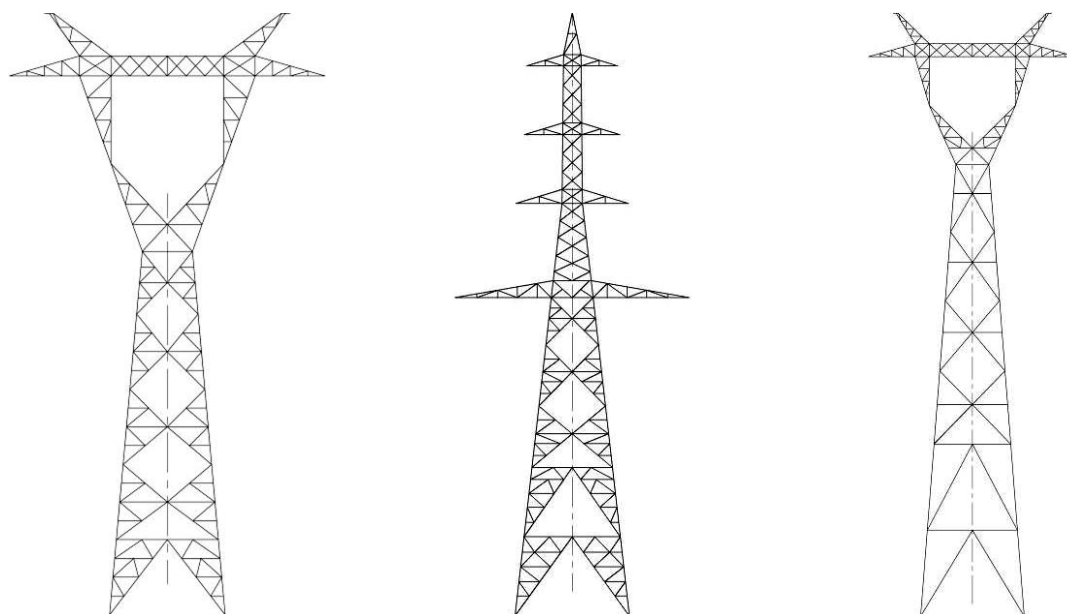


Рисунок 1.10 - Схемы башенных свободностоящих опор ВЛ за рубежом.



Рисунок 1.11 - Анкерная опора ВЛ
(Франция).



Рисунок 1.12 - Промежуточная
опора ВЛ (Чехия).



Рисунок 1.13 - Промежуточная опора ВЛ типа «кошачья голова» (Мексика).

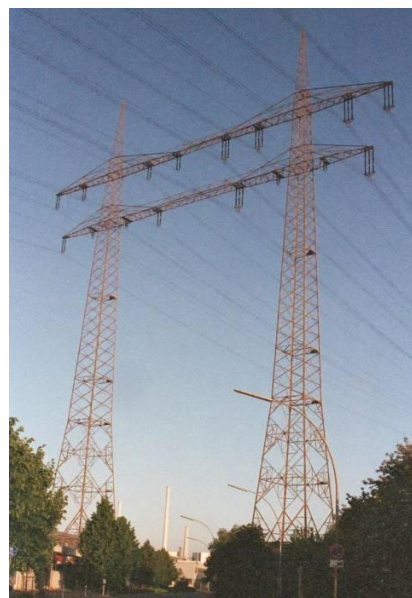


Рисунок 1.14 - Портальная опора ВЛ (Германия).

В опорах ВЛ в странах Латинской Америки, таких как Бразилия, Мексика и Аргентина, также применяются трубы. В этих конструкциях основные элементы имеют трехгранную форму. Кроме того, элементы из труб используются в порталных опорах с оттяжками. Пояса сквозных стоек могут быть соединены как треугольной решеткой, так и при помощи планок [151].

Изучение как отечественных, так и зарубежных конструктивных решений показало, что определение наиболее оптимальных конфигураций опор ВЛ представляет значительные трудности. Это обусловлено множеством факторов, которые влияют на выбор конструктивных форм опор при их проектировании. Среди этих факторов можно выделить: надежность и экономичность; компактность и пространственность, необходимые для обеспечения стабильности всей конструкции; простота использования и индустриальность; климатические и метеорологические условия, в которых опора будет работать; ценность земли, по которой проложена линия; наличие подходящих материалов и комплектующих деталей. Именно поэтому при строительстве воздушных линий электропередачи применяются как отдельностоящие опоры, так и опоры

на оттяжках, которые обладают достаточной надежностью и позволяют существенно сократить расход металла на конструкцию [126].

1.3. Обзор выполненных исследований по оптимизации реконструкции ВЛ с учетом надежности энергоснабжения потребителей

1.3.1. Анализ методов определения остаточного ресурса объекта

Много обстоятельств привели к тому, что обеспечение надежности энергетических систем стало ключевой проблемой современной энергетики. Связь между энергосистемой, ее элементами и внешней средой носит стохастический (вероятностный) характер и можно говорить лишь о вероятности полного достижения энергосистемой своей цели - передачи электроэнергии потребителю. Поэтому надежность работы энергосистемы всегда включает отказ, что в ряде случаев является исчерпанием остаточного ресурса, переводящее работоспособное состояние объекта в неработоспособное.

Надежность конструкции, как и ее остаточный ресурс невозможно определить без оценки технического состояния, соответственно действительной работы сооружения. В основе расчетов остаточного ресурса конструкций заложен метод предельных состояний, классика которого заложена в работах Болотина В.В., Ржаницина А.Р., Стрелецкого Н.С., Райзера В.Д., Сливкера В.И., Корноухова Н.В., Ясинского Ф.С., [9,10,13,82,45,74,], других авторов.

Нормирование надежности в методе предельных состояний отсутствует вследствие обеспечения выбора расчетной схемы, нагрузок, механических свойств материалов при соответствии действующим нормам проектирования и расчета [15,55, 58,63,87,88,108,109]. Однако из-за свойств материала и вероятностного характера нагрузок переход за предельное состояние может иметь место, хоть вероятность и не велика, причем по действующим нормам

эта вероятность допустима [12]. Так экспоненциальный закон надежности имеет вид:

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (1.1)$$

где с течением времени не меняется опасность отказа $\lambda(t)$, т.е. $\lambda(t)=\lambda=\text{const}$.

Однако вероятность безотказной работы на данном интервале $(t, t+\tau)$ не учитывает предшествующего периода эксплуатации (время работы), учитывается лишь длина интервала τ . Это значит, что закон не выполняется для систем, свойства которых изменяются во времени.

Воздушные линии электропередач – восстанавливаемый объект, находящийся в эксплуатации долгое время, то более точно показатель безотказности (параметр потока отказов) в общем случае следовало бы представлять как $\omega(t)$ – функция времени [13,15,42,57,73,74]. На величину « ω » влияют: факторы старения и износа элементов, а также плановые ремонты (рис.1.15).

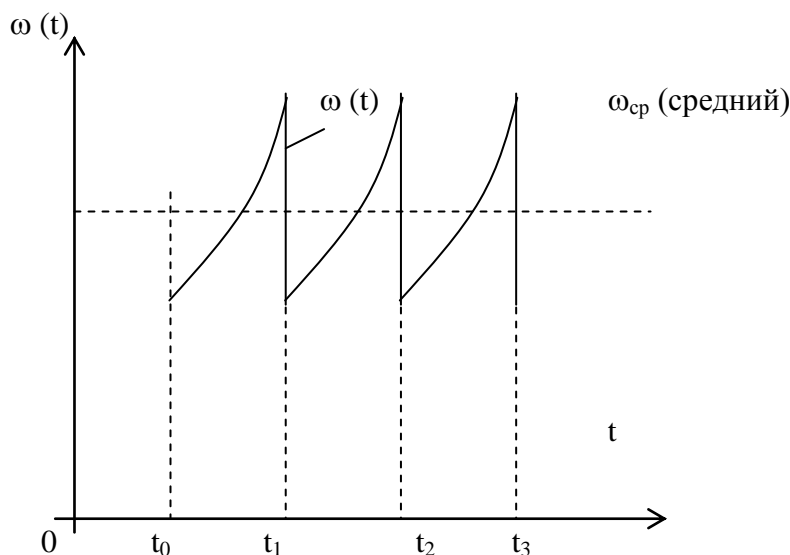


Рисунок 1.15 - Факторы, влияющие на параметр потока отказов: t_1, t_2, t_3 , момент времени выполнения капитальных ремонтов; t_0 -окончание приработки (периода освоения).

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}, \quad (1.2)$$

где M – математическое ожидание отказов ВЛ; $r(t)$ – число отказов за время t ; $r(t+\Delta t)$ число отказов за время $(t+\Delta t)$; $\omega(t)$ – среднее число отказов, ожидаемых в малом интервале времени.

Однако в эксплуатационной и проектной практике для ВЛ в период нормативного срока службы пользуются значением среднего потока отказов « ω_{cp} » не зависящего от срока службы ВЛ. Периодичность капитальных ремонтов ВЛ принимается 3-6 лет.

С вероятностью безотказной работы ВЛ связано понятие функции надёжности ВЛ – $p(t)$.

$$p(t) = 1 - \sum p^i(t)q^i(t); \quad ..(1.3)$$

где i - возможные состояния ВЛ; $p^i(t)$ – вероятность нахождения ВЛ в момент времени “ t ” в состоянии “ i ”; q^i – вероятность нарушения надёжности ВЛ в момент времени “ t ” в состоянии “ i ”.

Методика доступна обычному инженеру, удобна в реализации, но не отражает реальной работы конструкции, как системы с последовательно и параллельно соединенными элементами.

Еще одной методикой обеспечения надежной работы конструкции является принятие определенного значения безотказности, которую оценивают при помощи вероятностей безотказной работы P_s или отказа P_f [13,15,56,127]. Для вычисления вероятности безотказной работы ВЛ рекомендовано использование зависимости :

$$P_{sВЛ} = \chi_i P_v P_{vp} P_p, \quad (1.4)$$

где χ_i – коэффициент снижения прочности элемента наиболее часто подвергающегося действию предельно допустимых нагрузок;

$$P_v = \exp\left(-\frac{N}{T_v}\right); P_{vp} = \exp\left(-\frac{N}{T_{vp}}\right); P_p = \exp\left(-\frac{N}{T_p}\right), \quad (1.5)$$

где T_v , T_{vp} и T_p - периоды повторяемости ветровой нагрузки, нагрузки от ветра при гололеде и гололедной нагрузки, соответственно.

Методика, не смотря на ее простоту и удобство в практическом применении, не учитывает все особенности работы конструкции (различные дефекты и повреждения появившиеся в следствии разного рода воздействия на них), это связано с применением коэффициента χ_i .

ВЛ представляют собой сложные системы, состоящие из множества взаимодействующих друг с другом разнородных элементов, число которых может достигать десятков, а в некоторых случаях и сотен. Моделирование сложных систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск возникновения чрезвычайных ситуаций (отказов). В построенной математической модели сложной системы учитывают каждый из ее многочисленных элементов. Методики такого рода моделирования приводятся в [63,82,85], однако при рассмотрении оказывается, что для решения задачи моделирования необходимо создание соответствующего математического аппарата с поддержкой программным комплексом, причем математические выкладки далеки от инженерных. Этот факт приводит к значительным затруднениям при определении надежности конструкций.

Все вышеизложенные методики не рассматривают качество работы сооружения, т.е. речь идет о способности объекта выполнять (нормальная работа) или не выполнять (отказ) свои функции. Как выяснилось при создании систем энергоснабжения зачастую сведений о надежности аналогов не существует, а также в системах, где реализованы редкие воздействия аварийного характера возникает задача, не имеющая вероятностного описания, т.е. необходимо решение задачи эксплуатации при условии отказа какой-то части системы или элемента. Здесь имеет место понятие живучести конструкции, как неотъемлемой части надежности энергоснабжения потребителей.

1.3.2. Анализ работ по оптимизации реконструкции ВЛ

Вопросы расчета и создания надежных пространственных стержневых конструкций исследовались в работах Бирюлева В.В., Горохова Е.В.,

Жербина М.М., Зевина А.А., Крюкова К.П., Курносова А.И., Мельникова Н.П., Муханова К.К., Нилова А.А., Перельмутера А.В., Пермьякова В.А., Соколова А.Г., Трофимова В.И., Трофимовича В.В., Шевченко А.В., Шимановского В.Н. и других [4, 9, 10,49, 57, 73,74,75,82,85,87,88,90,92].

Значительный вклад в развитие теории оптимального проектирования внесли работы Е.И. Белени, М.М. Бердичевского, А.Н. Виноградова, А.В. Гемерлинга, В.Н. Гордеева, Е.В. Горохова, М.М. Жербина, А.А. Зевина, В.А. Пермьякова, В.В. Трофимовича, А.А. Чираса, Е.В. Шевченко, В.Н. Шимановского, М.И. Вох, К. Maalawi, О. Makoto и др. [10, 13, 25, 34, 35, 36, 42, 44, 56, 68, 70, 93, 114, 123, 129, 160, 172, 177, 183, 185, 189, 190].

Основываясь на известных методах проектирования конструкций рациональной формы М.В. Dobbs и L.P. Felton [197] применили алгоритм нелинейного программирования и итерационный подход к задаче с несколькими нагружениями. Расчет при этом повторялся до тех пор, пока были возможны дальнейшие топологические изменения.

Проанализированный в [9,10] зарубежный опыт в создании нормативной документации по безопасности свидетельствует о том, что даже в странах с развитой электроэнергетикой при хорошо разработанном механизме юридического и экономического воздействия на владельцев основных фондов, ответственных перед обществом за их безопасную эксплуатацию, действующие строительные нормы практически обходят принципиальные проблемы безопасности. Автор отмечает, что до недавнего времени в области обеспечения безопасности использовался принцип ALARA (as low as practicablely achievable), то есть настолько низко, насколько это технически возможно. Однако, практика показывает, что всегда может произойти непредвиденная авария, связанная с незначительными дефектами или повреждениями. В связи с этим в настоящее время все более детально исследуется проблема “допустимого” уровня риска. От принципа ALARA переходят к принципу ALARA (as low as reasonably achicievable) – настолько низко, насколько это разумно. При этом с помощью технических систем безопасности, исключаются

те аварии, риск которых является чрезмерным. Для прочих аварий, риск которых ниже “допустимого”, разрабатываются организационно-управленческие меры по ослаблению последствий.

Возможность применения методов статистического моделирования для оценки безотказности сооружений проанализирована в работах [44,45,56,73,74] и др

Вопросы структурного анализа надежности конструкций разрабатывались Е.В. Гороховым, Шевченко Е.В., Танасогло А.В., А.П. Кудзисом, Г.Е. Савиновым, А.В. Перельмутером и др [6,11,49,68,69,73,74,122,123,126,129].

Идея применения схемы главных и второстепенных конструкций не нова, главная цель заключается в сохранении целостности конструкции, точнее элементов и их систем, обеспечивающих безотказность работы конструкции при минимизированных затратах на восстановление. Проектирование этих конструкций следует вести по схеме минимизации разрушений при возникновении аварийной ситуации. Решать эту задачу следует за счет исключения возможности разрушения любого из ответственных элементов и (или) при проектировании учитывать возможность элемента или системы элементов, которые наиболее ответственны, сохранять работоспособность в период времени, достаточный для принятия срочных мер по устранению последствий отказа.

В данном контексте следует обратить внимание на нормы отбраковки, которые в настоящее время приняты фиксированными (107), к примеру, стальной элемент опоры считается нерабочим при изгибе более чем $1/750$, однако эксплуатация показывает, что элементы и с большими погибами успешно эксплуатируются не один десяток лет.

В то же время, по оценкам специалистов, главными причинами аварий электросетевых конструкций является несвоевременное выполнение работ по восстановлению разрушенной антикоррозионной защиты, усилению прокорродировавших элементов и узлов, ремонту фундаментов и пр., в основном, из-за недостаточности средств на поддержание конструкций в

работоспособном состоянии, то есть деятельность по предотвращению аварий строительных конструкций сталкивается прежде всего с финансовыми трудностями. За последние годы вложения в электрические сети 35-750 кВ составили около 20 % общих вложений в электроэнергетику, в то время как в странах с развитой электроэнергетикой эта доля достигает до 36 %. В существующих условиях недостаточность мер по обеспечению надежности и безопасности эксплуатируемых электросетевых конструкций обусловлена прежде всего имущественной обособленностью их владельцев. Поскольку и государство также в настоящее время лишено возможности широкого маневрирования финансовыми ресурсами для реализации указанных мероприятий, наиболее реальным способом обеспечения инженерной защиты строительных конструкций и возмещения ущерба в случае наступления аварийных событий является страхование, основанное на данных экспертной оценки технического состояния.

Решение общих задач совершенствования нормативной базы по обеспечению инженерной защиты эксплуатируемых строительных конструкций позволяет разработать должную нормативную основу, регламентирующую деятельность страховых компаний в данной области. Основной организационной формой обеспечения конструктивной безопасности является своевременная оценка технического состояния строительных конструкций в процессе освидетельствования и обследования, оценка степени конструктивных рисков, а также создание денежного страхового фонда целевого назначения, средства из которого направляются на мероприятия по инженерной защите и возмещение убытков вследствие аварий строительных конструкций.

Анализ причин отказов ВЛ, проведенный исследовательскими учреждениями (Донбасская академия строительства и архитектуры, московские ОРГРЭС, ВНИИЭ, институт «Энергосетьпроект») [5,6,127], показывает, что интенсивность отказов зависит от срока службы ВЛ.

Актуальность и необходимость технического перевооружения ВЛ продиктованы физическим и моральным износом электрических сетей, но при

этом требованиями повышения их пропускной способности. Моральный износ вызван техническим старением в результате научно-технического прогресса, а физический износ – отработкой ВЛ срока эксплуатации. Проблемы морального износа решаются техническим перевооружением, а физического – реконструкцией и капитальным ремонтом.

К настоящему времени назрела необходимость в коренном обновлении электрических сетей, создании линий нового поколения, отвечающих экономико-экологическим требованиям и современному техническому уровню по долговечности и надежности. Одним из направлений развития является применение новых конструкций и материалов, позволяющих довести срок службы вновь строящихся и реконструируемых линий до 70 и более лет. Однако решение данного вопроса не может быть молниеносным.

К числу задач, решаемых на уровне проектирования и эксплуатации электрической сети на верхнем уровне рассмотрения, относятся:

- Выполнение профилактических мероприятий на объектах электрической сети с учетом обеспечения надежности электроснабжения.
- Разработка политики по страхованию ответственности за нарушение договорных обязательств по надежности электроснабжения.
- Установление требований к поставщикам электрической энергии в контексте обеспечения надежности электроснабжения.
- Разработка нормативной базы для обеспечения надежности электроснабжения потребителей.
- Выявление территориальных зон с повышенной опасностью для работы электрической сети.

Приведенные примеры свидетельствуют об актуальности проблемы обеспечения надёжности в работе систем электроэнергетики.

В связи с изложенным стоит задача разработки инженерных методик анализа аварийности в электрической сети и алгоритмов расчёта показателей надёжности по статистическим данным.

Структурная схема исследования представлена на рисунке 1.16.

Оптимизация реконструкции ВЛ с учетом надежности энергоснабжения потребителей

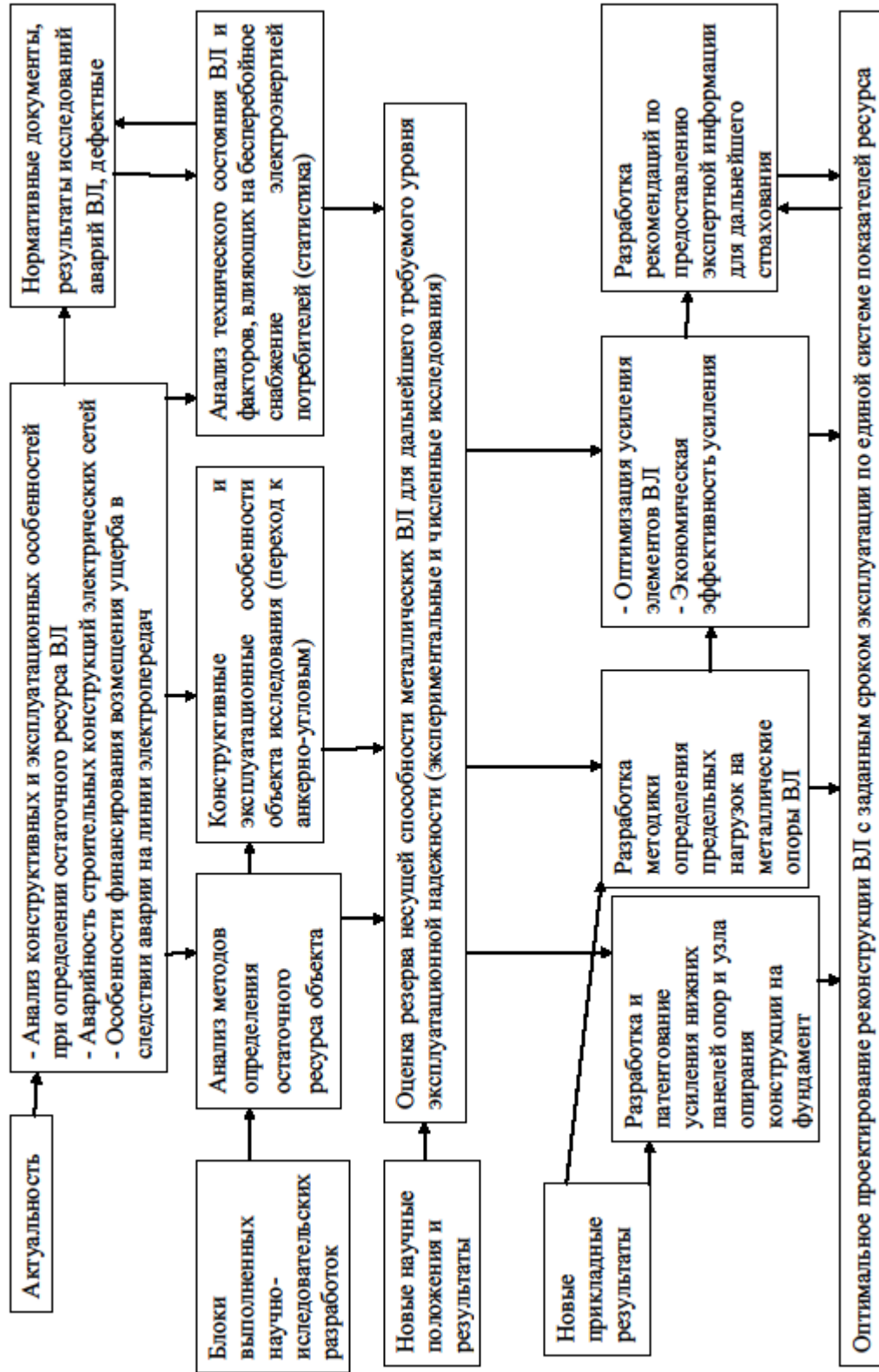


Рисунок 1.16 - Структурная схема исследования

1.4. Выводы по разделу 1

1. Для нахождения путей повышения надежности и долговечности линий электропередач необходимо выполнить более тщательный анализ повреждений опор ВЛ, в частности выгибы решетки, и их влияние на НДС конструкции металлической опоры.
2. Существующие методы оценки риска не учитывают комплексно различные виды несовершенств элементов опор ВЛ, срок эксплуатации и действующие нагрузки, что приводит к снижению эксплуатационной надежности сооружения.
3. По результатам обследований ВЛ возникает необходимость в разработке методики расчетной оценки риска аварии, связанной со значительным износом существующего парка электросетевых конструкций, требованиями гарантий надежности эксплуатации в рыночных условиях, ужесточением требований к безопасности конструкций
4. Для использования эффективного экономического механизма страхования в целях инженерной защиты существующих объектов, необходимо совершенствование нормативной базы по обеспечению безопасности эксплуатируемых строительных конструкций с разработкой должной нормативной основы.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИИ ОПОРЫ С НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ В ВИДЕ ВЫГИБОВ РЕШЕТКИ ИЗ ПЛОСКОСТИ ГРАНЕЙ

2.1. Основные принципы расчета надежности

Современная теория надежности рассматривает строительные конструкции как сложные системы, представляющие собой совокупность взаимодействующих элементов. Элементами системы являются самостоятельные конструктивные единицы или их отдельные части, для которых можно идентифицировать отказ. Состояние системы определяется комплексом параметров, которые по своей природе обладают неопределенностью. Различают следующие параметры:

- входные параметры;
- параметры системы;
- параметры реакции системы.

Входными параметрами являются внешние нагрузки и воздействия, параметрами системы – ее геометрические размеры и физико-механические свойства материалов.

Параметры реакции описывают отклик системы (перемещения, усилия, напряжения и т.д.) на все возможные внешние возмущения.

Основная цель расчета надежности состоит в определении вероятностных свойств реакции системы при заданных вероятностных свойствах входных параметров и параметров системы.

Нормы проектирования, основанные на теории надежности, определяют целью проектирования «достижение приемлемой вероятности того, что рассчитываемая конструкция не окажется непригодной для использования по назначению в течение некоторого условного периода, установленного с учетом ее расчетного срока службы» [36]:

$$P_{fail}(T_i) \leq [P_{fail}], \quad (2.1)$$

где $[P_{fail}]$ – предписанное значение вероятности отказа.

Исходя из неравенства, становится очевидным, что основными двумя задачами норм проектирования является корректное обоснование как правой, так и левой части представленного неравенства.

Для обоснования правой части неравенства, т.е. выбора требуемого уровня надежности в целом необходимо решение задачи вероятностно-оптимального проектирования, с тем учетом, что допустимый уровень риска должен определяться не только с учетом экономических, но и социальных критериев.

В упрощенном виде $[P_{fail}]$ для случая определения вероятности отказа конструкции, вызванного любой причиной в течение ее расчетного срока службы $[P_{fail}]$, предложено определять, как

$$[P_{fail}] = \frac{10^{-4} \zeta_s T}{L}, \quad (2.2)$$

где ζ_s – коэффициент социальной значимости;

T – расчетный срок службы конструкции;

L – среднее число людей, находящихся внутри сооружения или в непосредственной близости от него в течение периода, за который оценивается риск.

При этом, учитывая, что в силу наличия случайных ошибок, дефектов, несовершенств, которые могут иметь место при проектировании, монтаже и эксплуатации сооружения, в очень упрощенной форме предлагается связать теоретическую и действительную вероятность отказа соотношением $[P_{fail}] = 0,1 [P_{fail}]$.

Тогда требуемое значение теоретической вероятности отказа примет вид:

$$[P_{fail}] = \frac{10^{-5} \zeta_s T}{L}; \quad (2.3)$$

Для вычисления значений $P_{fail}(T_i)$ используются упрощенные подходы:

- *методы 1-го уровня*, для которых приемлемое значение надежности обеспечивается некоторым количеством частных коэффициентов надежности, вводимых к характеристическим (нормативным) значениям исходных величин;

- *методы 2-го уровня*, для которых надежность проверяется только в точке на границе области отказа, а неравенство проверяется сравнением индекса надежности.

В качестве основных регламентируемых положений отмечается следующее:

- вероятность наступления отказа трактуется как вероятность выполнения неравенства

$$P_{f,i}(T_{ef}) = Prob\{g_i(\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_n) < 0/T_{ef}\} \leq P_i^{ex}, \quad (2.4)$$

где P_f – вероятность отказа,

T_{ef} – установленный срок эксплуатации,

g_i – функция работоспособности относительно отказа i -го вида,

$\tilde{x}_1 \dots \tilde{x}_n$ – случайные параметры, учитывающие случайные значения параметров влияний (нагрузок), прочностных характеристик, геометрических характеристик, времени и др.,

P_i^{ex} – целесообразное значение вероятности отказа i -го вида, которое изменяется в пределах от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3}$.

С другой стороны надежность работы конструкции оценивается через дальность отказа β , которая связана с вероятностью отказа P_f соотношением:

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f); \quad (2.5)$$

где $\Phi(z)$ – функция нормированного распределения вероятностей работоспособности g_i .

При использовании в расчетах нормального распределения вероятностей функция $\Phi(z)$ может быть определена через интеграл вероятностей:

$$\Phi(z) = 0,5\pi^{-1} \int_{-\infty}^z \exp[-u^2/2] du. \quad (2.6)$$

Если надежность работы конструкции оценивается через дальность отказа β , то необходимо добиваться выполнения условия

$$\beta_i \geq \beta_i^{ex}, \quad (2.7)$$

где β_i^{ex} – значение вероятности отказа i -го вида, изменяющееся от 4,76 до 3,29.

Следует заметить, что в случаях, когда распределения вероятностей случайных параметров функции работоспособности g_i с достаточной обоснованностью могут быть приняты в виде нормального распределения, то возможным является использованием метода 2-х моментов.

Статистические характеристики нагрузок и параметры несущей способности (деформативности), которые применяются в вероятностных расчетах, задаются в нормах нагрузок и влияний и в нормах проектирования конструкций.

К этим характеристикам относятся:

- для параметра i -го влияния F_i – соответствующее среднее значение и стандарт \bar{S}_i, \check{S}_i ,
- для j -го параметра несущей способности (деформативности) f_i – соответственно среднее значение и стандарт \bar{r}_j, \check{r}_j .

В случаях, когда расчет выполняется с учетом фактора времени, дополнительно рассматриваются:

- эффективная частота i -го влияния ω_i ,
- коэффициент тренда K_i^{mp} , учитывающего сезонные изменения i -го влияния (например, снеговой и ветровой нагрузок).

Для S и R статистическими характеристиками являются следующие параметры:

a) средние значения:

$$\bar{s} = S(F_{d1}, \dots, F_{dn}) + \sum_{i=1}^n a_i (\bar{F}_i - F_{di}), \quad (2.8)$$

$$\bar{r} = R(f_{d1}, \dots, f_{dn}) + \sum_{j=1}^m b_j (\bar{f}_j - f_{dj}), \quad (2.9)$$

где F_{di} и f_{dj} – расчетные значения величин,

$a_i = \partial S / \partial F_i$ ($i = 1, \dots, n$), $b_j = \partial R / \partial f_j$ ($j = 1, \dots, m$) – коэффициенты

чувствительности;

б) стандарты:

$$\check{s} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \check{s}_i)^2} \check{r} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (b_j \check{r}_j)^2}, \quad (2.10)$$

в) коэффициенты вариации:

$$v_s^0 = \check{s} / \bar{s} v_r^0 = \check{r} / \bar{r}. \quad (2.11)$$

Вероятность наступления отказа $P_{f,i}(T_{ef})$ сравнивается с целесообразной вероятностью наступления отказа P_i^{ex} .

Настоящая работа посвящена разработке метода оценки надежности электросетевых конструкций, испытывающих воздействия комплекса случайных факторов.

Практически во всех задачах проектирования строительных конструкций применяется схема отдельного анализа входных параметров и параметров системы. Ей соответствует полувероятностный метод расчета по предельным состояниям.

Считается, что конструкция оказывается в предельном состоянии, когда определенный параметр реакции системы достигает порогового значения. Такое состояние трактуется как отказ системы. Для каждого вида предельного состояния формулируется предельное неравенство.

Вероятность безотказной работы системы P_f выражается как вероятность выполнения неравенства:

$$P_f = P\{S = R - Q > 0\} \quad (2.12)$$

где S – запас прочности;

R – обобщенная характеристика сопротивления;

Q – обобщенная характеристика эффекта нагрузки.

В общем случае R и Q являются нелинейными многомерными функциями всей совокупности случайных входных параметров и параметров системы. Вследствие изменчивости этих параметров во времени R , Q и S имеют одним из своих аргументов время.

Таким образом, запас прочности может быть формально определен как композиционная функция случайных аргументов. А вероятность безотказной работы равна вероятности превышения запасом прочности нулевого уровня на всем рассматриваемом временном интервале.

Причем выполнение предельного неравенства $S > 0$ целесообразно проверять только для наихудших возможных условий (макимальных внешних воздействий и т. п.):

$$P_f = P\{S_{\min}(t) > 0, t \in [0; T]\} \quad (2.13)$$

Надежность конструкции (системы высшего уровня) оценивается на основании надежности ее отдельных элементов и узлов (систем нижнего уровня).

В качестве показателя надежности элемента принята вероятность безотказной работы.

Метод основан на следующих расчетных предпосылках:

- элемент может находиться только в двух состояниях: отказ и безотказная работа;
- отказ элемента наступает при превышении напряжением в элементе σ сопротивления материала элемента R ;
- рассматривается только один (наиболее вероятный для данного стержня) механизм отказа;
- напряжения в элементе однозначно определены как функции нагрузок;
- напряжения в элементе и сопротивление материала элемента являются стохастически независимыми;

- усилия и напряжения в пределах изменения внешних нагрузок линейно зависят от нагрузки (это вовсе не означает, что усилия в элементах следует определять без учета геометрической нелинейности конструкции).

Учитывая второй пункт уравнение предельного состояния можно записать в виде

$$g(x) = R - \sigma, \quad (2.14)$$

Причем безотказной работе конструкции соответствует условие $R - \sigma \geq 0$.

Таким образом, надежность элемента конструкции определяется как вероятностью того, что напряжение в нем не превысит сопротивление материала при всех возможных сочетаниях σ и R с учетом частоты их появления в течение заданного срока службы конструкции.

Поток отказов опор воздушных линий (ВЛ), не связанных с функцией времени (коррозионный износ), не зависит от длительности эксплуатации, т.е. определяется случайными величинами и может быть уменьшен только увеличением первоначальных прочностных параметров конструкции, а также качеством строительного производства и монтажа.

Учитывая вышесказанное, возникает необходимость в определении влияния несовершенства элемента на напряженно-деформированное состояние (НДС) всей конструкции либо ее части и способность конструкции к локализации и перераспределению усилий между элементами.

В настоящее время треть эксплуатируемых опор ВЛ изготовлены по типовым альбомам СССР с максимальной унификацией элементов.

Наиболее уязвимыми элементами, в которых возникают несовершенства, являются те, которые имеют наибольшие параметры дефекта и воспринимают наибольшие усилия от воздействий на них параметров нагрузок.

Поэтому для выявления зависимости влияния несовершенств были проведены численные исследования башенной анкерно-угловой опоры У220-2+9 в программном комплексе «ЛИРА-САПР».

Целью данного исследования является анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой опоры У220-2+9 в программном комплексе «ЛИРА-САПР» и сравнение результатов расчета внутренних усилий при работе конструкции с несовершенствами в виде искривления элементов решетки из плоскости грани опоры и без указанных дефектов.

Задачи, решаемые при численном моделировании анкерно-угловой опоры У220-2+9, следующие:

- определение поведения элементов опоры при образовании общего искривления элементов решетки из плоскости граней;
- выявление характера перераспределения усилий и возможных деформаций между элементами конструкции опоры при наличии дефектов решетки в виде искривлений из плоскости грани опоры.

2.2. Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования принята башенная свobodнoстоящая решетчатая анкерно-угловая опора типа У220-2+9 с крестовой решеткой из одиночных равнополочных уголков (рисунок 2.2).

Высота опоры 40,6 м (рисунок 2.1).

Опора представляет собой пространственную стержневую конструкцию (рисунок 2.3).

В пределах первых двух нижних секций опора имеет вид правильной четырехгранной пирамиды. Высота каждой секции составляет 9 м.

Верхняя секция опоры представляет собой параллелепипед шириной 2,5 м и высотой 16,2 м с примыкающими к ней в трех уровнях шестью параллельными траверсами, имеющими пространственную стержневую конструкцию.

Вылет траверс симметричен относительно ствола и составляет 4,65 м для нижних и верхних траверс и 5,815 м для средних траверс.

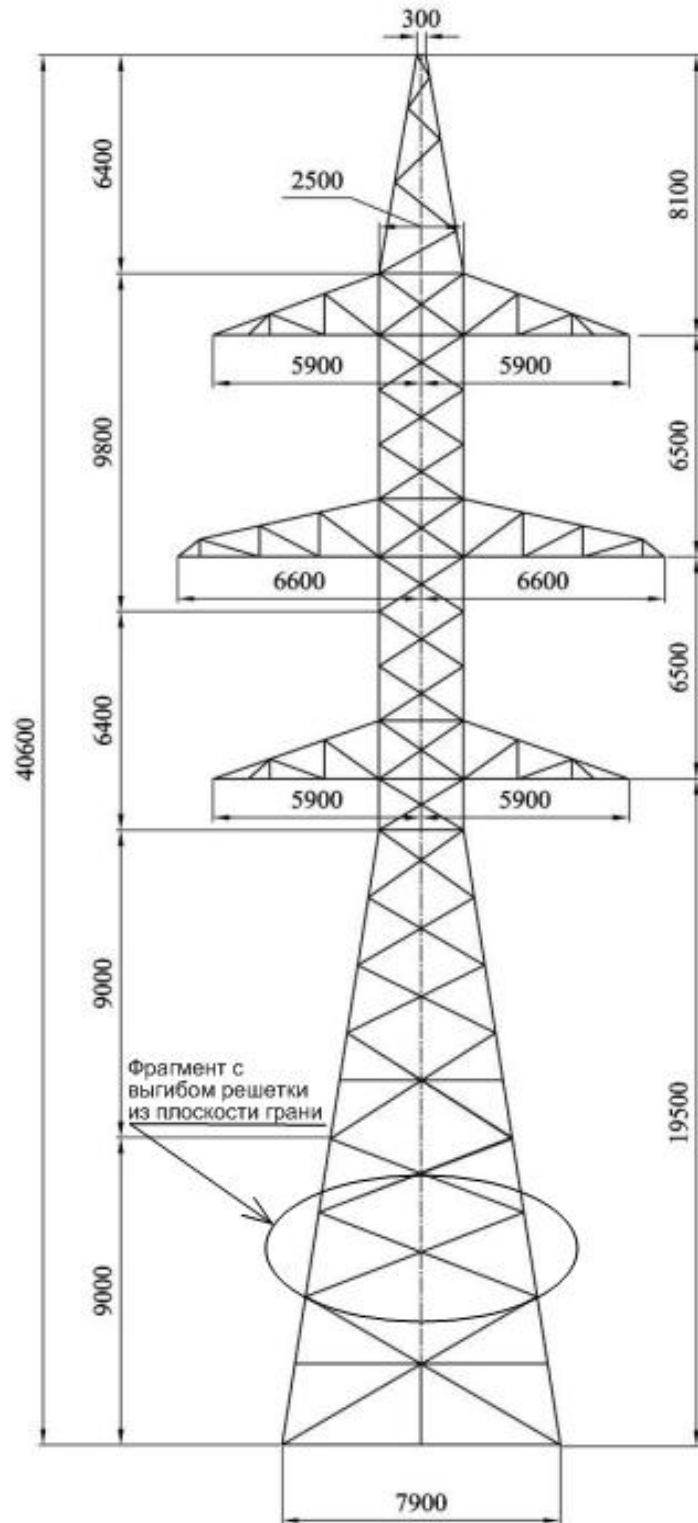


Рисунок 2.1 -Геометрическая схема опоры У220-2+9

Тросостойка представляет собой стержневую конструкцию в виде четырехгранной пирамиды высотой 6,4 м.

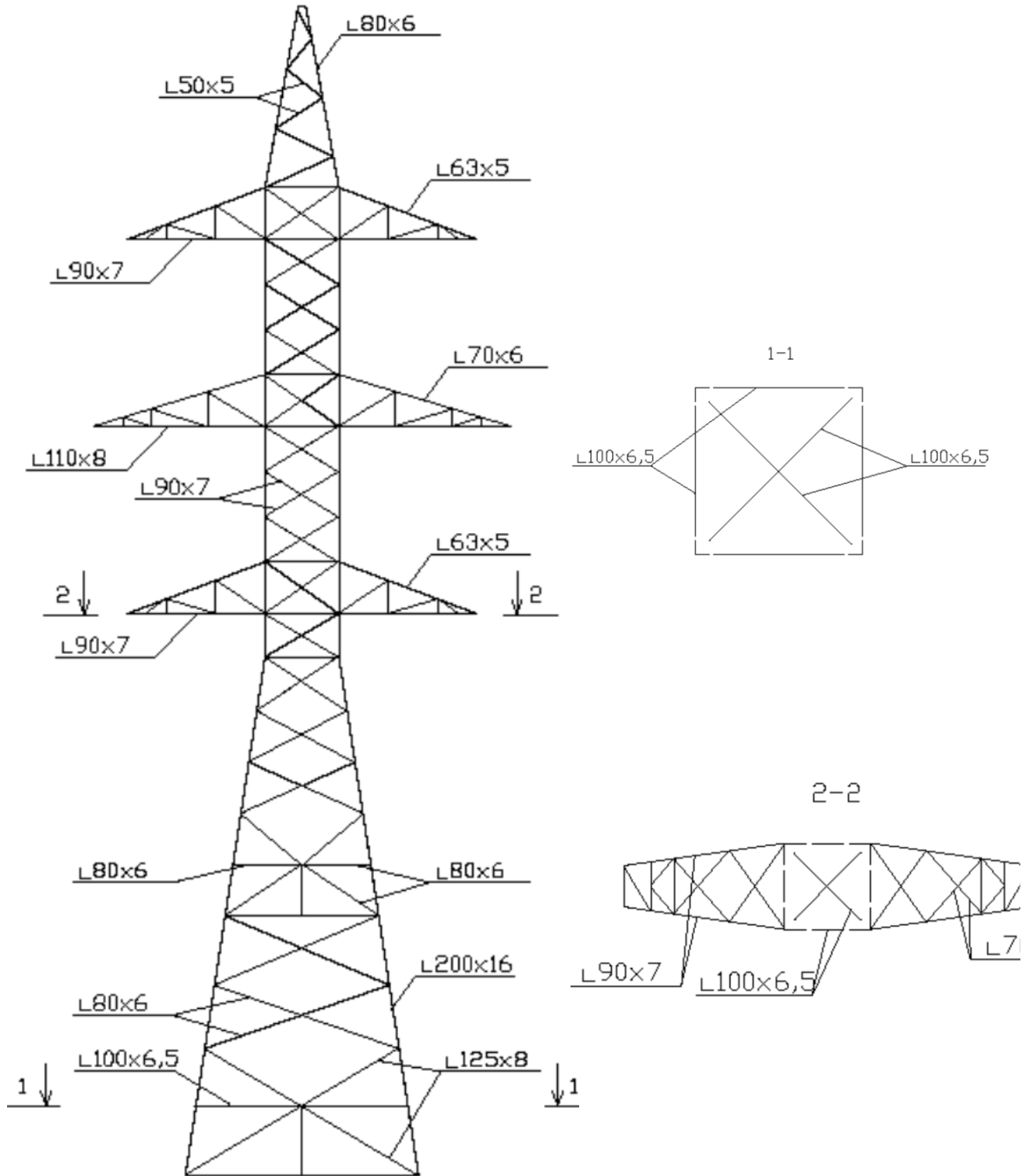


Рисунок 2.2 - Сечения основных элементов опоры У220-2+9

Элементы секций соединяются между собой на болтах нормальной точности классом 5.6. Пояса смежных секций соединены между собой накладками на болтах класса 5.6.

Пояса первых трех снизу секций опоры выполнены из уголка 200x16 мм. Сечение поясов верхней секции изменяется на уголки 160x10 мм. Пояса тросостойки – уголок 80x6 мм. Сечения раскосов в пределах одной секции одинаковые: раскосы подставки выполнены из уголка 125x8 мм, раскосы первых двух снизу секции выполнены из уголка 80x6 мм, раскосы верхних секций – уголок 90x7 мм, раскосы тросостойки – 50x5 мм. Пояса нижних и верхних траверс – уголок 90x7 мм, средней траверсы – уголок 110x8 мм. Тяжи нижних и верхних траверс – уголок 63x5 мм, средней траверсы – 70x6 мм. Диафрагмы: нижних секций – уголок 100x6,5 мм, в местах примыкания траверс – уголок 110x8 мм.

Материал конструкций – малоуглеродистые стали для сварных конструкций ВСт3 по ГОСТ 380-71*, соответствуют марке С245 по табл. 50 [10].

Опора запроектирована на нагрузки для региона Донбасса (3 ветровой и 4 район по гололеду) [11].

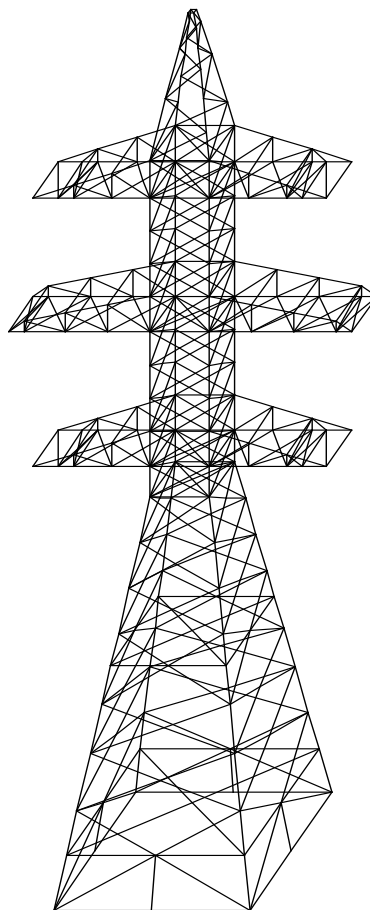


Рисунок 2.3 - Пространственная стержневая модель опоры У220-2+9

2.3. Численные исследования конструкции опоры в ПК «ЛИРА-САПР»

Статический расчет конструкций выполнен с помощью программного комплекса «ЛИРА-САПР».

Расчетная пространственная схема исследуемого типа опоры ВЛ для режима Шк приведена на рисунке 2.4.

Опора рассчитывалась в аварийном концевом режиме Шк. Рассматривается одностороннее тяжение с обрывом провода, дающего наибольший крутящий момент на опору. Трос не оборван. Ветровая нагрузка отсутствует $q = 0$. Расчетная температура $t = - 5^{\circ}\text{C}$. Стенка гололеда $C = 22$ мм. Вес гололеда $g = 20$ Н/м. Токоведущие провода марки АС 400/51, грозозащитный трос – С70. Схема является расчетной для расколов ствола опоры.

Для создания модели опоры были использованы следующие допущения:

В расчетной схеме стержневой конструкции стержни были заменены их продольными осями.

Реальные опорные устройства были заменены идеальными опорными связями, где нагрузки с поверхности стержней были перенесены на оси.

Процесс создания модели включает следующие шаги:

1. Построение расчетной схемы.
2. Описание условий закрепления конструкции опоры в пространстве.
3. Назначение жесткостей элементов конструкции.
4. Создание схем загрузок конструкции опоры.
5. Выполнение расчета.

Анализ результатов расчета и сравнение полученных внутренних усилий в расчетных схемах. В результате расчета конструкций опор ВЛ были определены усилия в стержнях опоры при заданных нагрузках для работы конструкции без дефектов и с выгибами.

Направления выгибов показаны на рисунке 2.5.

Несовершенства конструкции в виде выгиба моделировались путем разбиения элементов на части с целью повторения геометрии дефекта в двух параллельных гранях поочередно.

Схема секции с несовершенством решетки и нумерацией элементов представлена на рисунке 2.6.

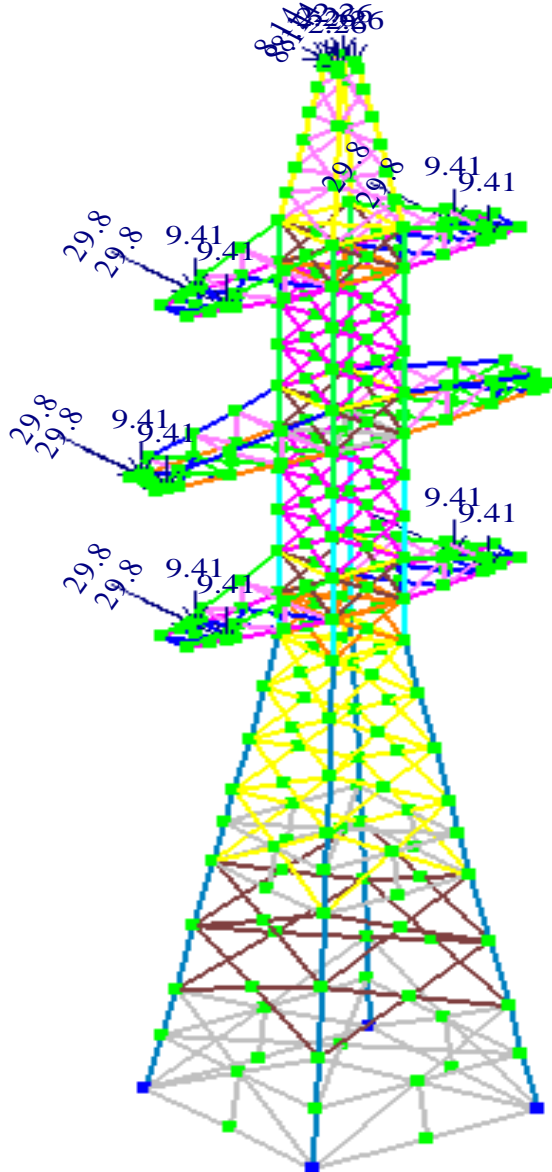


Рисунок 2.4 - Пространственная модель опоры У220-2+9 с приложением нагрузок

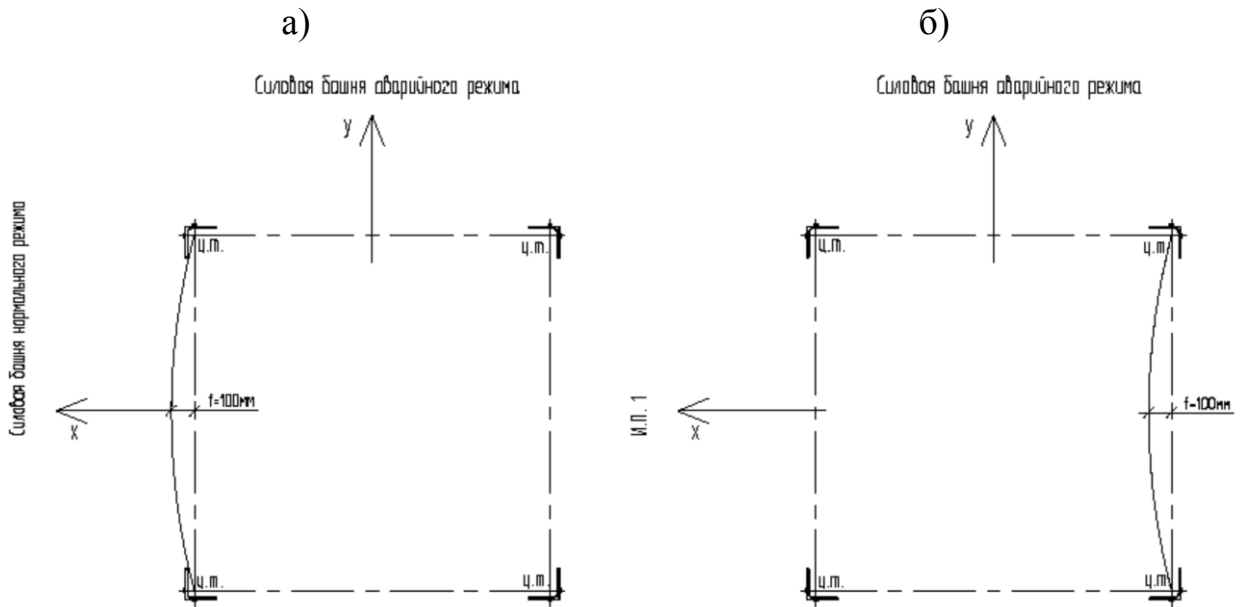


Рисунок 2.5 - Направление выгибов решетки:

- а) на сжатый элемент решетки;
- б) на растянутый элемент решетки.

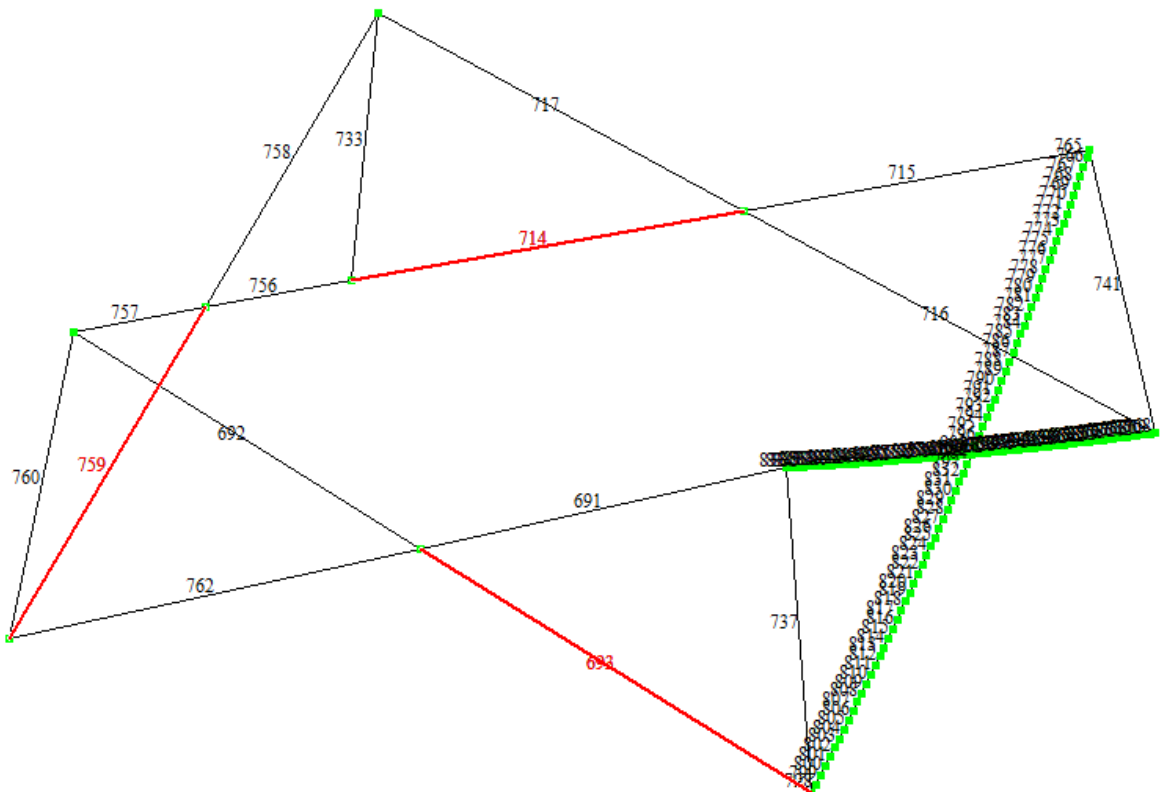


Рисунок 2.6 - Схема секции содержащей несовершенство с нумерацией элементов и выгибом решетки «на растянутый раскол».

Внутренние усилия в стержнях опоры У220-2+9 (продольные усилия сжатия и растяжения) по каждой схеме приведены в таблице 2.1.

По результатам расчета определялись максимальные усилия, возникающие в элементах опоры, производился их анализ и сравнение полученных результатов.

Таблица 2.1 - Результаты определения расчетных усилий в элементах нижней секции ствола опоры У220-2+9

№	№ элемента	Тип стержня	без дефекта	выгиб на растянутый раскос	выгиб на сжатый раскос
1	737	пояс	-614.9	-615	-615.1
2	760	пояс	-634.8	-634.5	-635
3	733	пояс	561.4	561.1	561.2
4	741	пояс	581.8	582	582
5	691	раскос	27.2	26.8	28.4
6	692	раскос	-8.8	-8.7	-10.2
7	757	раскос	12.6	12.4	17.2
8	758	раскос	-11.6	-11.4	-18.5
9	717	раскос	6.5	6.4	7.5
10	716	раскос	-23.3	-23	-24.5
11	827	раскос	21.2	21	21.1
12	849	раскос	-20.7	-20.6	-20.6

После изучения результатов расчета можно сделать выводы о влиянии изменения геометрии раскосов на усилия, возникающие в деформированных стержнях модели.

При внесении изменений в геометрию раскосов, которые являются расчетными в данном режиме работы, наблюдается значительное увеличение усилий по сравнению с работой конструкции опоры без таких несовершенств. Величина увеличения может достигать до 60%.

Таким образом, численные исследования показали, что геометрические параметры оказывают существенное влияние на механические характеристики конструкции.

Проведение численного анализа позволяет определить оптимальные значения геометрии раскосов для достижения требуемой прочности и надежности конструкции в целом.

2.4. Анализ живучести конструктивной схемы опоры ВЛ

С целью проведения анализа живучести стержневой конструктивной формы опоры линии электропередачи выполнен проверочный расчет в программном комплексе, разработанном на основе языка программирования MATLAB [119], по результатам которого определяется и фиксируется группа разрушенных элементов, определяющих верхнюю границу надежности конструкции в целом.

С целью определения порядка выхода из строя элементов конструкции выполняется поэтапный численный расчет.

С точки зрения строительной механики, рассматриваемая конструкция опоры ВЛ является пространственной статически неопределимой системой. Требуется определить группу наиболее ответственных элементов, надёжность которых и будет определять надёжность системы в целом.

В случае если ни один элемент не разрушается, временная нагрузка увеличивается этапами по 0,5 кН и выполняется перерасчет.

После дополнительного догружения во всех рассмотренных вариантах, начинается лавинообразное разрушение.

Далее, на определенном шаге, система опять стабилизируется и требуется следующий этап дополнительного приращения нагрузки.

Второй этап лавинообразного обрушения для вариантов 2, 7, 8 приводит к полному разрушению конструкции, а для остальных вариантов, фиксируются промежуточные этапы стабилизации системы.

После получения порядка выхода из строя элементов определяется группа стержней, для которой будут насчитываться характеристики надежности, в частности вероятность отказа и β – характеристика безопасности. Таким образом, выбирается группа из 5–7 стержней, которая и будет определять надежность системы в целом (рисунки 2.7, 2.8).

В качестве случайных величин рассматривались:

- толщины полок уголков ($\pm 4\%$);
- длины полок ($\pm 4\%$);
- координаты узловых точек (\pm до 18 мм);
- осадка опорных точек (до 20 мм);
- расчётное сопротивление ($\pm 20\%$).

Все вышеперечисленные стохастические величины подчиняются нормальному закону распределения с обеспеченностью не менее 0,05.

Далее, оперируя плотностью, законами и характеристиками распределений, вычисляются вероятности отказа и характеристика безопасности (дальность отказа) для каждого из выбранных элементов в группе.

Максимальное значение вероятности отказа является нижней границей надежности. Вероятность отказа определяется методом Монте-Карло [4].

Как видно из приведенных гистограмм разрушения конструкции (рисунок 2.9), на определенном этапе дополнительного догружения временной нагрузкой происходит выход группы элементов из строя. При этом в конструкции перераспределяются усилия, система стабилизируется и снова догружается дополнительной нагрузкой.

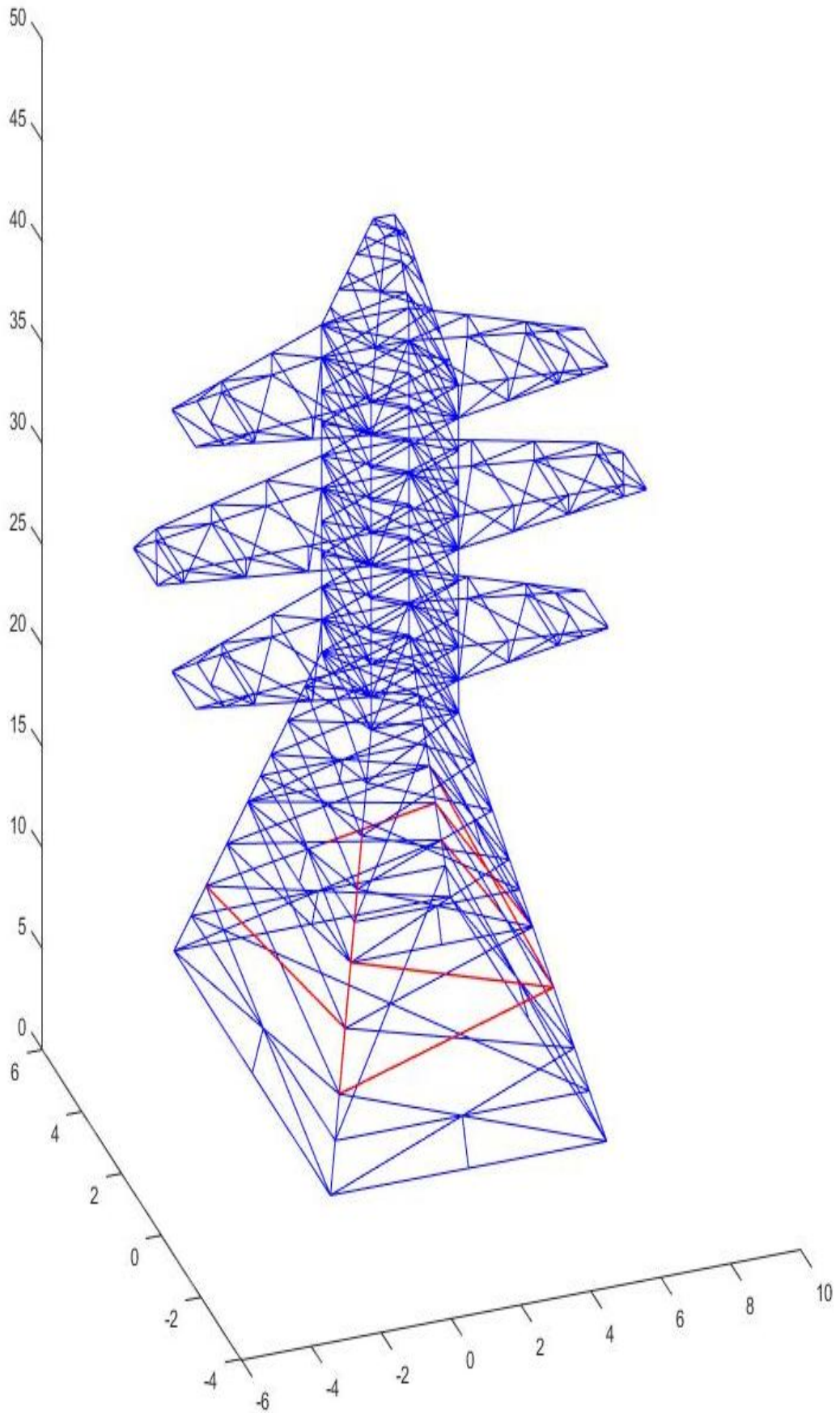


Рисунок 2.7 - Количество элементов, выходящих из строя на четвертом догружении (с выгибом решетки на сжатый элемент)

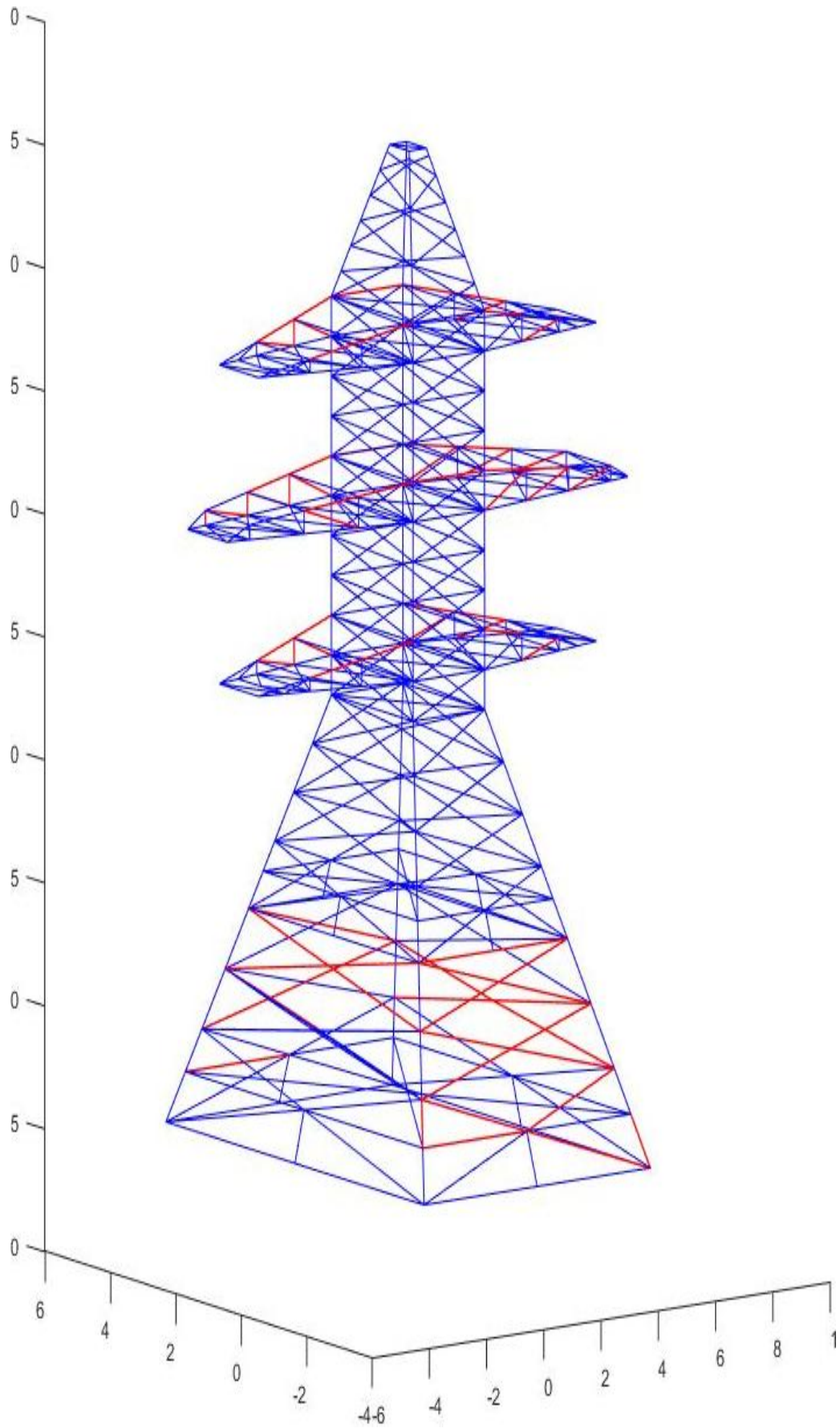


Рисунок 2.8 - Количество элементов, выходящих из строя на четвертом догрузении (с выгибом решетки на растянутый элемент)

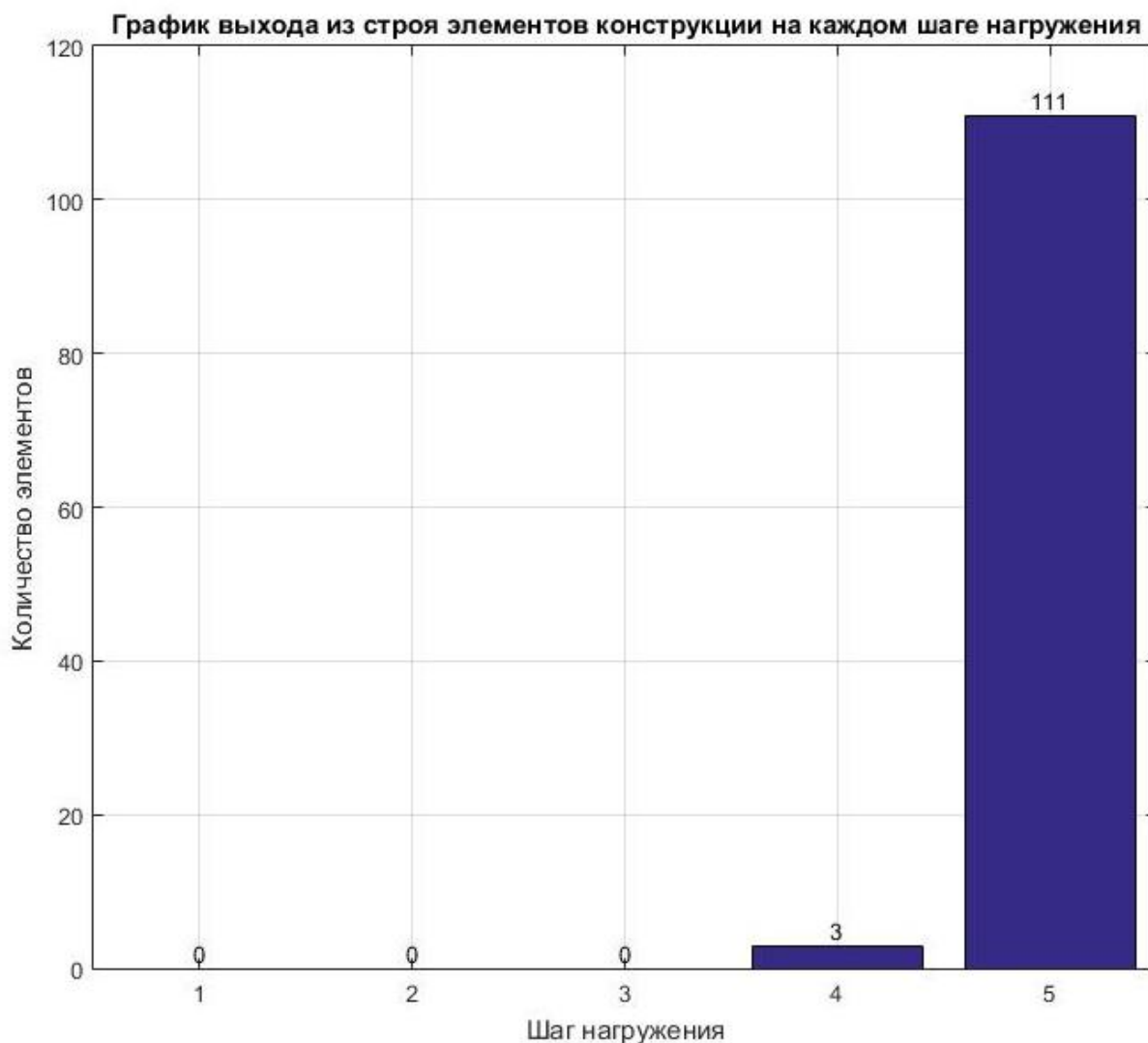


Рисунок 2.9 - График выхода из строя элементов конструкции в зависимости от шага нагружения

По результатам расчета в программном комплексе было установлено, что характеристика безопасности для опоры с дефектом решетки в виде выгиба на сжатый элемент составляет – 9,32, в виде выгиба на растянутый элемент составляет – 6.0.

Выводы по разделу 2

1. Выполнены численные исследования разработанных моделей опоры ВЛ с несовершенствами в виде выгибов решетки из плоскости грани.
2. Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что в результате изменения геометрии раскосов решетки в аварийном концевом

режиме усилия в деформированных стержнях расчетной модели увеличиваются до 60% по сравнению с работой конструкции без дефектов и несовершенств.

3. В результате анализа расчетов определено включение в работу панелей, перпендикулярных граням с выгибами, в результате перераспределения усилий в элементах решетки пространственной модели в отличие от типового расчета, когда конструкция раскладывается на плоские фермы, рассчитываемые по отдельности.

4. По результатам расчета в программном комплексе было установлено, что характеристика безопасности для опоры с дефектом решетки в виде выгиба на сжатый элемент составляет – 9,32, в виде выгиба на растянутый элемент составляет – 6.0

5. Численные исследования показывают необходимость верификации полученных данных отклика исследуемой конструкции со стержнями с предельными выгибами экспериментальным путем.

РАЗДЕЛ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНКЕРНОЙ ОПОРЫ У220-2р+9 С НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

3.1. Цели и задачи экспериментальных исследований анкерной опоры У220-2р+9.

Поток отказов опор воздушных линий (ВЛ), не связанных с функцией времени (коррозионный износ), не зависит от длительности эксплуатации, т.е. определяется случайными величинами и может быть уменьшен только увеличением первоначальных прочностных параметров конструкции, а также качеством строительного производства и монтажа. Учитывая вышесказанное, возникает необходимость в определении влияния несовершенства элемента на НДС всей конструкции либо ее части, и способность конструкции к локализации и перераспределению усилий между элементами. Наиболее уязвимыми элементами, в которых возникают несовершенства, являются те, которые имеют наибольшие параметры дефекта и воспринимают наибольшие усилия от воздействий на них нагрузочных параметров. Исходя из вышесказанного, для выявления зависимости влияния несовершенств были проведены экспериментальные исследования на анкерно-угловой опоре У220-2р+9 на Полигоне испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (далее «Полигон»).

Цель исследования (эксперимента): исследование поведения решетчатых конструкций опор ВЛ с несовершенством в виде искривления элементов решетки из плоскости грани опоры, выявление механизма поведения конструкции в пределах одной панели при учете указанного дефекта.

Задачи эксперимента состоят в:

- определении поведения элементов опоры (в пределах одной панели) при образовании общего искривления элементов решетки из плоскости ферм;

- выявлении характера перераспределения усилий и возможных деформаций между элементами конструкции ВЛ (в пределах одной панели) при наличии дефектов решетки в виде искривлений из плоскости грани опоры.

3.2. Натурные испытания опоры У220-2р +9 для выявления зависимости влияния несовершенств на конструкцию в целом

Эксплуатационные свойства металлических опор ВЛ характеризуются двумя основными факторами: восприимчивостью к образованию дефекта и верхним пределом внешней нагрузки, при которой обеспечивается нормальная эксплуатация конструкции, характеризуемая первой группой предельных состояний.

По результатам численного эксперимента в ПК «Лира САПР 2013» были определены элементы, воспринимающие наибольшие усилия от внешних нагрузок, поэтому анализ испытаний выполнялся в два этапа. На первом этапе рассматривается поведение отдельных элементов и узлов опоры в процессе образования дефекта в виде общего искривления стержня из плоскости конструкции (см. рис. 3.3,3.7). На втором этапе анализируется отклик исследуемой конструкции на дефектный стержень, т.е. способность к локализации влияния дефекта в пределах отдельного стержня или возможность перераспределять усилие от выведенного из строя дефектного стержня на соседние.

В ходе данного эксперимента моделировалась ситуация образования общего искривления элементов решетки из плоскости грани опоры.

Испытания опоры проводились на Полигоне испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (далее «Полигон»), оборудованным соответствующим образом в соответствии стандартам МЭК 625 [58].

Общая схема экспериментальной установки для испытания опоры на Полигоне представлена на рис.3.1. Испытываемая опора 8 устанавливалась

на силовой пол 1 с размерами в плане 24x24 м, воспринимающего рабочую вертикальную нагрузку на отрыв и сжатие 3000кН, через опорные силовые балки, которые служат базой для испытываемой опоры 8.

Нагрузка на опору создавалась силовой башней аварийного 3 режима 3. Башня 3 предназначена для создания необходимого направления натяжного троса и поддержания этого направления во время нагружения испытываемой опоры 8. С помощью натяжного устройства создавалась необходимая схема нагружения опоры. К натяжным устройствам предъявлялись требования:

- диапазон создаваемого усилия – от 0,1 до 30 кН;
- количество нагрузочных устройств – 12 шт.;
- рабочий ход натяжного троса – 6 м.

Натяжные устройства состоят из полиспаста, ручных лебедок и натяжных тросов.

Неподвижные блоки полиспастов натяжных устройств устанавливались на силовых фермах, размещенных за силовой башней 3. На рабочей поверхности силовых ферм с шагом 1 м размещены узлы для крепления неподвижных блоков полиспастов. Место установки неподвижных блоков полиспастов определялось при разработке технологических карт на расположение испытательного оборудования и оснащения.

Натяжение рабочего троса полиспастов осуществляется ручными лебедками грузоподъемностью 5 тонн. Лебедки установлены на силовой площадке аварийного режима между силовой башней 3 и силовыми фермами. На силовых площадках нормального и аварийного режимов использовалось по шесть лебедок. Рабочий трос полиспастов к лебедке подходил со стороны силовой фермы. Натяжной трос устанавливался между подвижной обоймой полиспаста и электрическим динамометром растяжения. Диаметр троса подбирался в зависимости от усилия, создаваемого натяжным устройством.

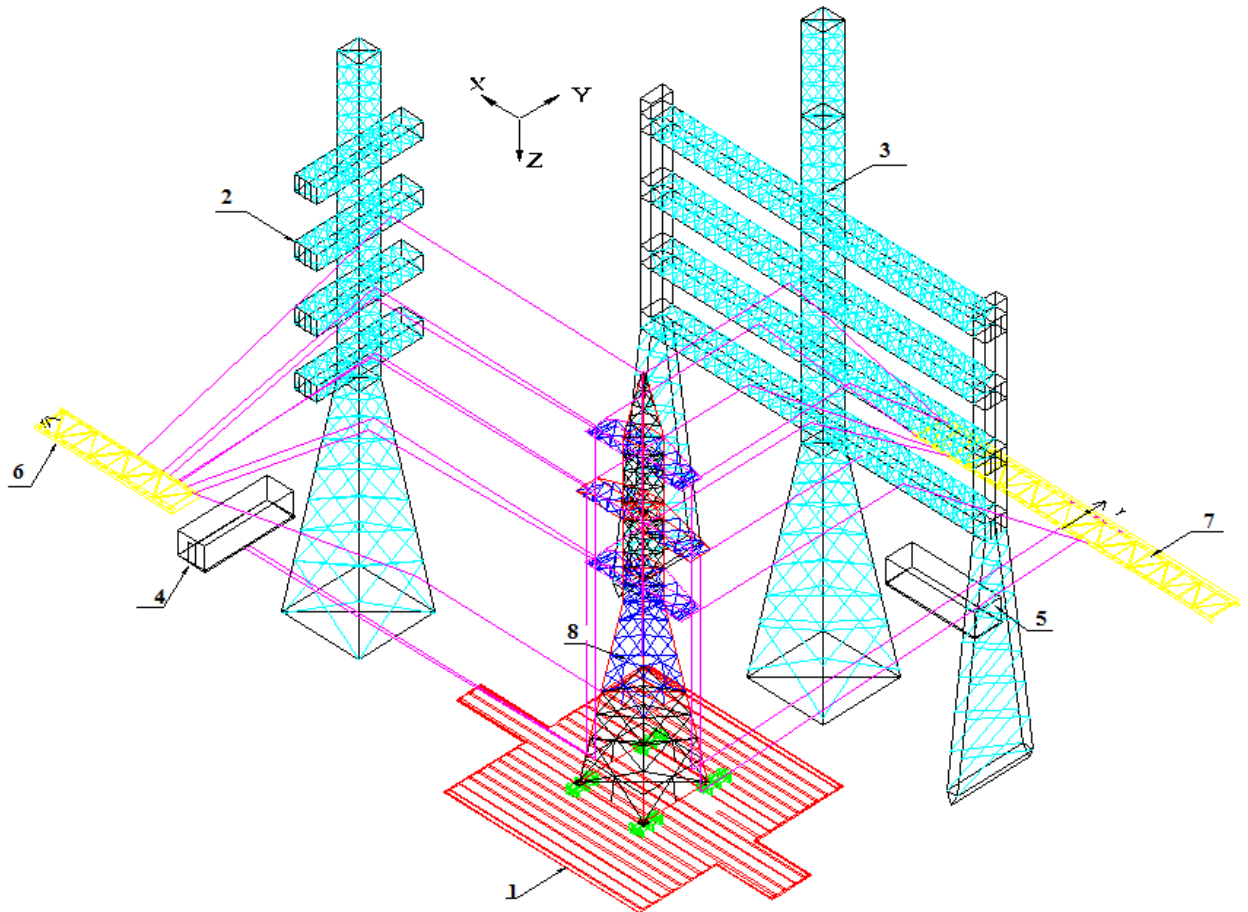


Рисунок 3.1 - Полигон испытаний башенных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: 1-универсальный силовой пол – 24x24м; 2-силовая башня нормального режима – Н=55м; 3-силовая башня аварийного режима – Н=62м; 4-площадка с лебедками башни нормального режима; 5- площадка с лебедками башни аварийного режима; 6-силовая площадка для полиспастов нормального режима; 7-силовая площадка для полиспастов аварийного режима; 8-испытываемая опора.

Для сравнения показателей НДС элементов опоры проводилось три нагрузочных испытания по аналогичным схемам. В процессе первого испытания производились загрузки опоры без несовершенств, ее стабилизация и снятие нагрузки ступенями в обратном порядке от загрузки, осмотр на возможные отклонения от геометрических параметров и подготовка ко второму загрузению конструкции с несовершенствами решетки.

Искривления в элементах решетки создавались с помощью натяжного устройства. В процессе выгиба трос крепился в плоскости выгиба к стержню, при этом фиксировалась нагрузка, создаваемая натяжным устройством и стрелка выгиба стержня. Величина стрелки искривления контролировалась с помощью теодолита 2Т30 по металлической линейке прикрепленной в узле пересечения раскосов (рис.3.2). Нагрузка, создаваемая натяжным устройством, прикладывалась ступенями, величина которых определяется появлением пластических деформаций в изгибаемом стержне. При испытании узлы пересечения стержней выгибались на сжатый и на растянутый раскос, т. е. в первом случае создавалась стрелка прогиба со стороны растянутого раскоса и наоборот. Направление выгиба элементов относительно силовых башен представлено на рис. 3.8.



Рисунок 3.2 - Фиксирование выгиба решетки нижней части опоры

После образования общего искривления стержня с необходимой стрелкой прогиба производилось нагружение опоры.

Испытания проводились для режима работы Шк (Опора концевая. Оборван провод, дающий наибольший крутящий момент на опору. Трос не оборван. Схема является расчетной для раскосов ствола опоры). Расположение тяговых тросов и точек приложения нагрузки показаны на рис. 3.4,3.5.

Загружения опоры производились пятью ступенями: 25%, 50%, 75%, 100% и 102,5% от предельных нагрузок. Усилия, прикладываемые к опоре, приведены в таблице 3.1.

Продолжительность выдержки опоры на каждой ступени загрузки ограничивалось временем, необходимым для измерения отклонений, нагрузок, визуального осмотра опоры и фиксации параметров НДС, причем, снятие показаний осуществляется после выхода на режим стабилизации деформации в опоре.

Статические нагрузки прикладывались так, чтобы не возникало никаких динамических воздействий.

В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась тензометрическая система «СИИТ-3» на сто каналов измерения, объединенных через групповой коммутатор. Датчики распаяны в общую цепь. Распайка производилась по схеме $\frac{1}{4}$ моста. В качестве датчиков деформаций применены тензорезисторы на бумажной основе с базой 20 мм.

Проверка тензорезисторов, и определение цены деления по СИИТ-3 для датчиков с базой 20 мм производились на эталонной консольной балке равного сопротивления. Схема тарировки тензорезисторов с использованием эталонной балки равного сопротивления приведена на рис. 3.3.

По результатам тарировки - определена цена деления тензорезисторов по СИИТ-3, которая составила $C = 0,37$ МПа.

Тензорезисторы наклеивались на подготовленную поверхность элементов при помощи клея типа «Цианопан» (рисунок 3.4).

Таблица 3.1 – Программа испытания опоры. Усилия, прикладываемые к опоре при ее ступенчатом нагружении

№ точки	Направление силы	Степень загрузки													
		25%			50%			75%			100%			102,5%	
		N [кг]	-2%* [кг]	2%** [кг]	N [кг]	-2%* [кг]	2%** [кг]	N [кг]	-2%* [кг]	2%** [кг]	N [кг]	-2%* [кг]	2%** [кг]	N [кг]	2% [кг]
1	Y	830.0	763.6	896.4	1660.0	1593.6	1726.4	2490.0	2423.6	2556.4	3320.0	3253.6	3386.4	3403.0	3469.4
1	Z	230.0	211.6	248.4	460.0	441.6	478.4	690.0	671.6	708.4	920.0	901.6	938.4	943.0	961.4
2	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
2	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	2006.4
3	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
3	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	2006.4
4	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
4	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	2006.4
5	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
5	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	2006.4
6	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
6	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	2006.4
7	Y	1520.0	1398.4	1641.6	3040.0	2918.4	3161.6	4560.0	4438.4	4681.6	6080.0	5958.4	6201.6	6232.0	6353.6
7	Z	480.0	441.6	518.4	960.0	921.6	998.4	1440.0	1401.6	1478.4	1920.0	1881.6	1958.4	1968.0	
* - отнимается 2% от нагрузки на данной ступени загрузки [12]															
** - прибавляется 2% к нагрузке на данной ступени загрузки [12]														2006.4	

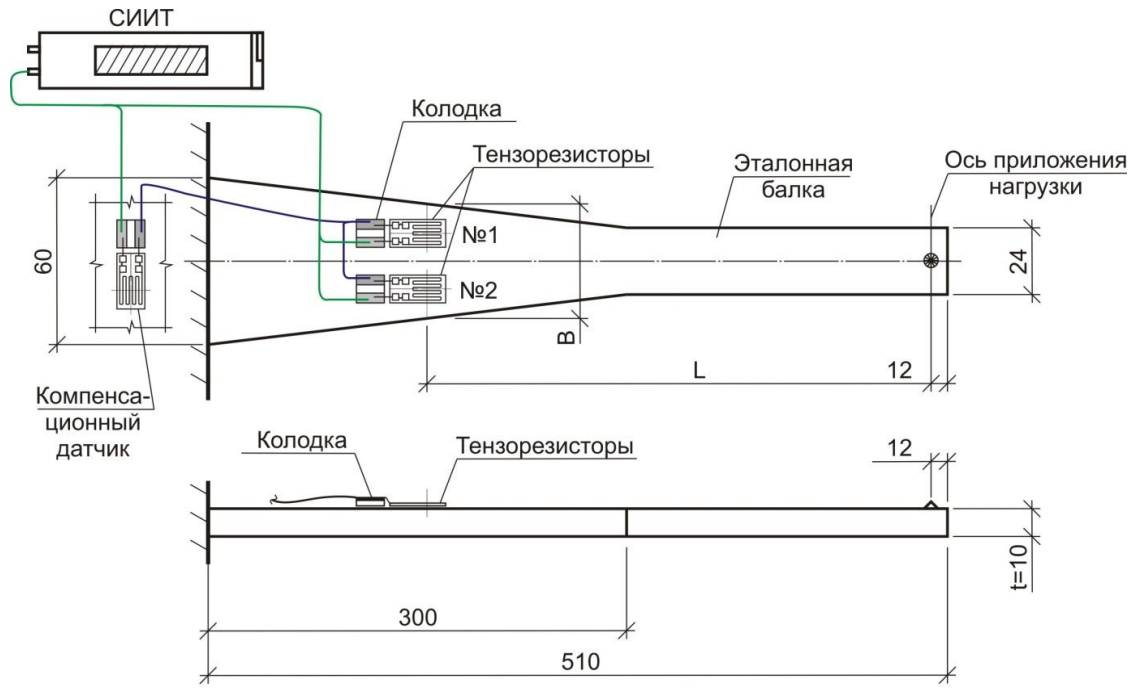


Рисунок 3.3 - Схема тарировки (определения цены деления) тензорезисторов по СИИТ-3 с использованием эталонной консольной балки равного сопротивления

а)



б)



Рисунок 3.4 - Фрагмент цепи датчиков: а) на стволе опоры; б) на решетке опоры.

Подготовка поверхности металла моделей под наклейку датчиков деформаций производилась вручную при помощи наждачной бумаги. Подготовка поверхности – степень очистки I по ГОСТ 9.402–2004 [35]. Особенность подготовки поверхности – последовательная зачистка поверхности от более крупного зерна к менее крупному с окончательной зачисткой бумагой минимальной шероховатости (500 или 600) по направлению наклейки датчиков.

Общий вид опоры, подготовленной для проведения эксперимента на полигоне ДонНАСА, показан на рисунке 2.7.

В ходе проведения эксперимента моделировалась ситуация образования общего искривления элементов решетки из плоскости грани опоры рисунке 2.5. При испытании узлы пересечения стержней выгибались на сжатый и на растянутый раскос, т. е. в первом случае создавалась стрелка прогиба со стороны растянутого раскоса, во втором – со стороны сжатого раскоса.

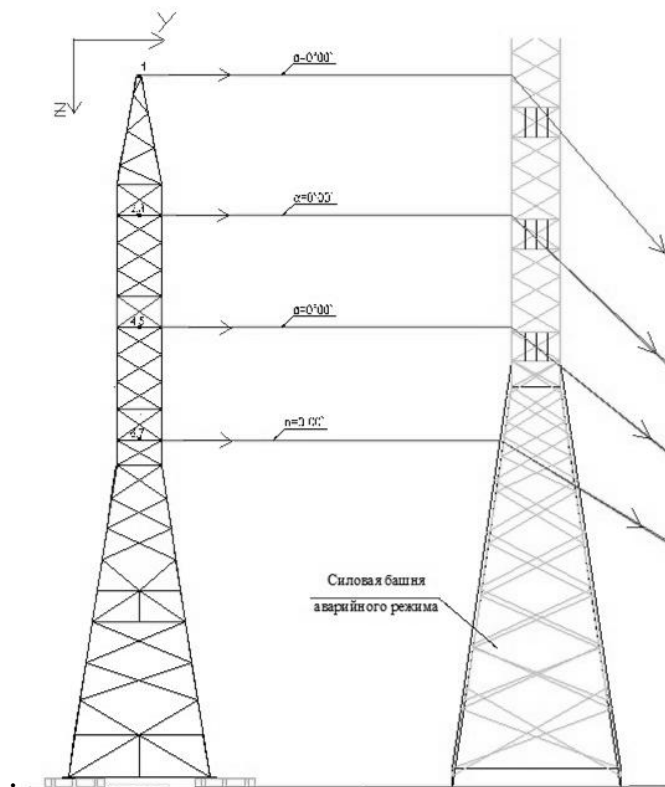


Рисунок 3.5 - Расположение тяговых тросов и точек приложения нагрузок. Вид на силовую башню аварийного режима: 1-7 – номера точек приложения нагрузок

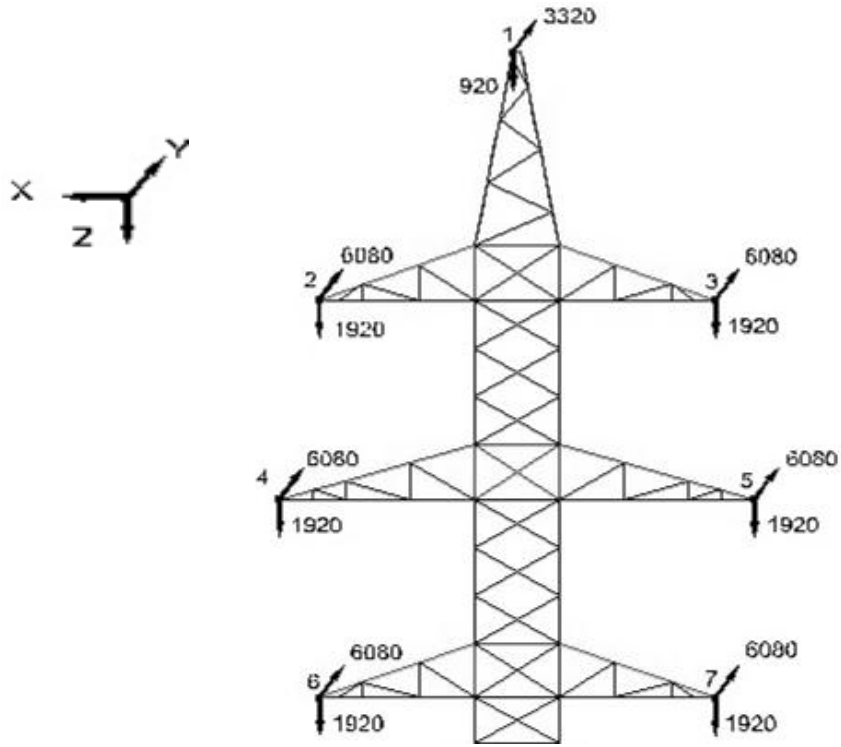
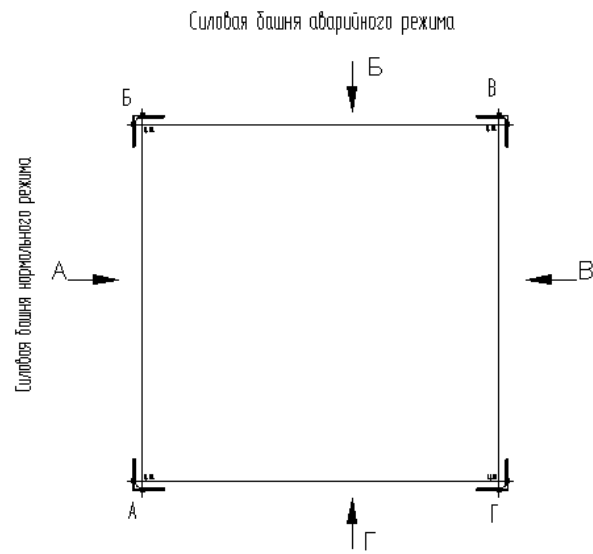


Рисунок 3.6 - Приложение нагрузок на траверсы: 1-7 – номера точек приложения нагрузок [кг];

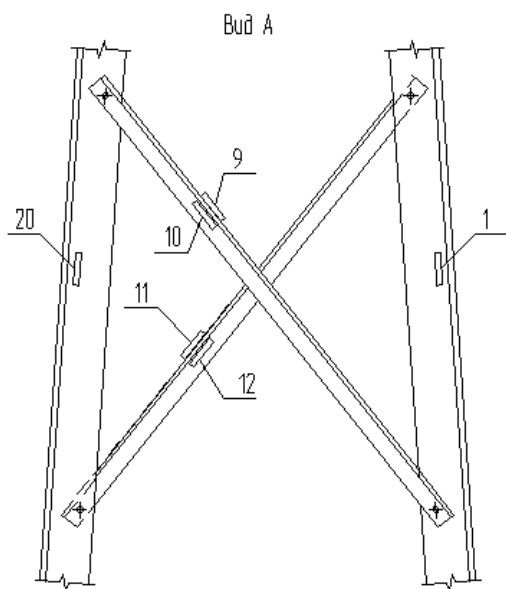


Рисунок 3.7 - Общий вид опоры, подготовленной для проведения эксперимента, на Полигоне ДонНАСА.

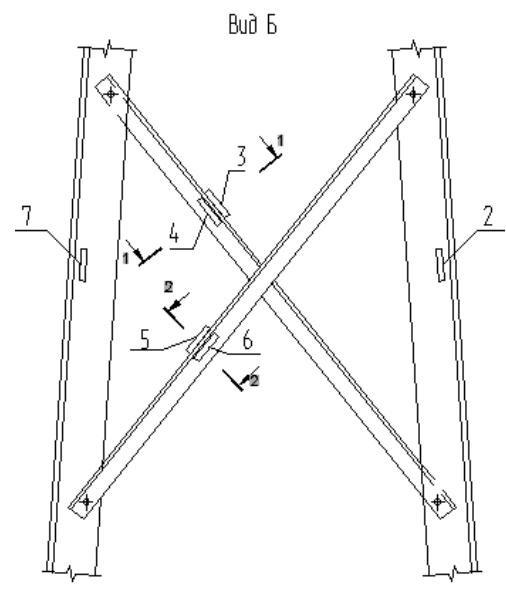
а)



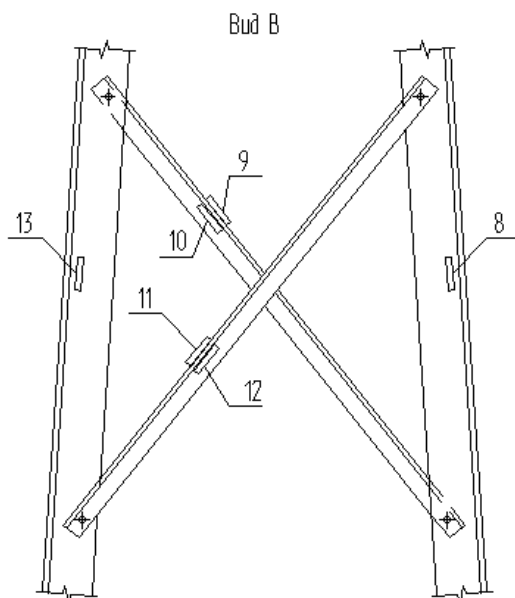
б)



в)



г)



д)

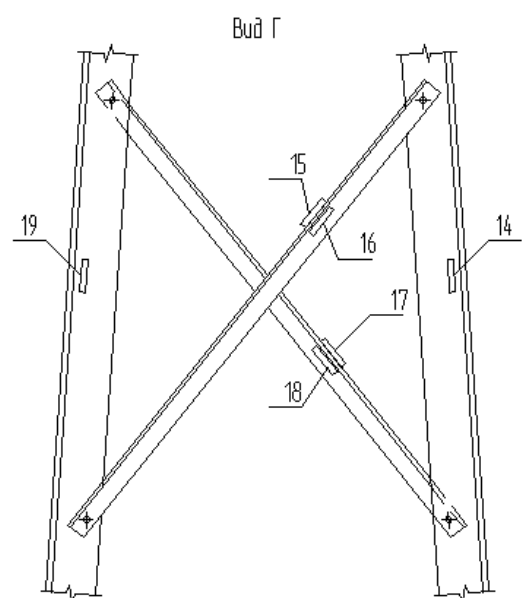


Рисунок 3.8 - Расположение тензорезисторов на стержнях опоры и их нумерация.

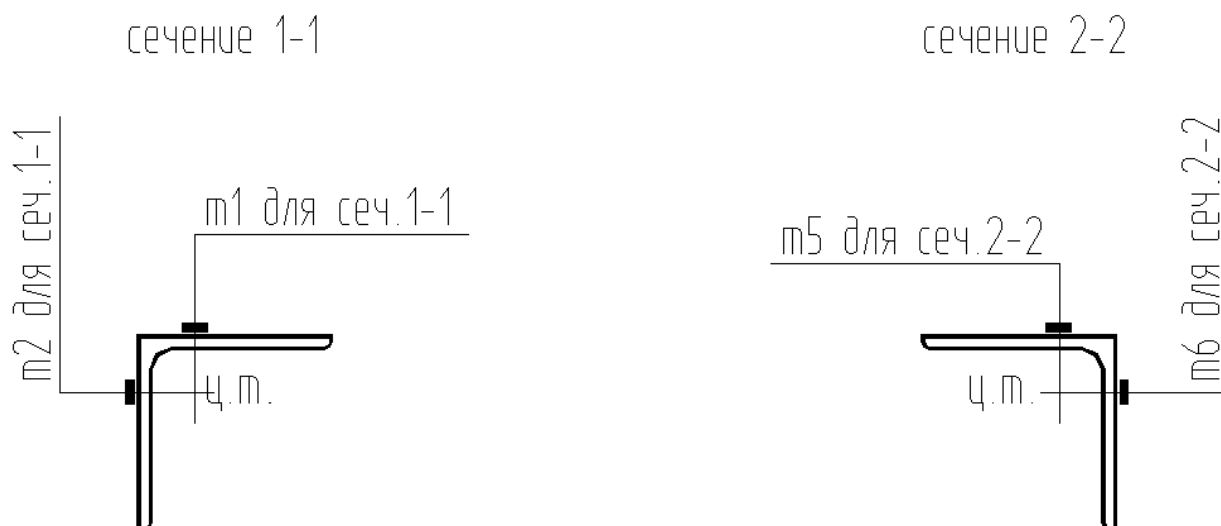


Рисунок 3.9 - Расположение сечений с тензорезисторами на стержнях опоры

3.3. Анализ действительной работы конструкции опоры ВЛ с несовершенствами

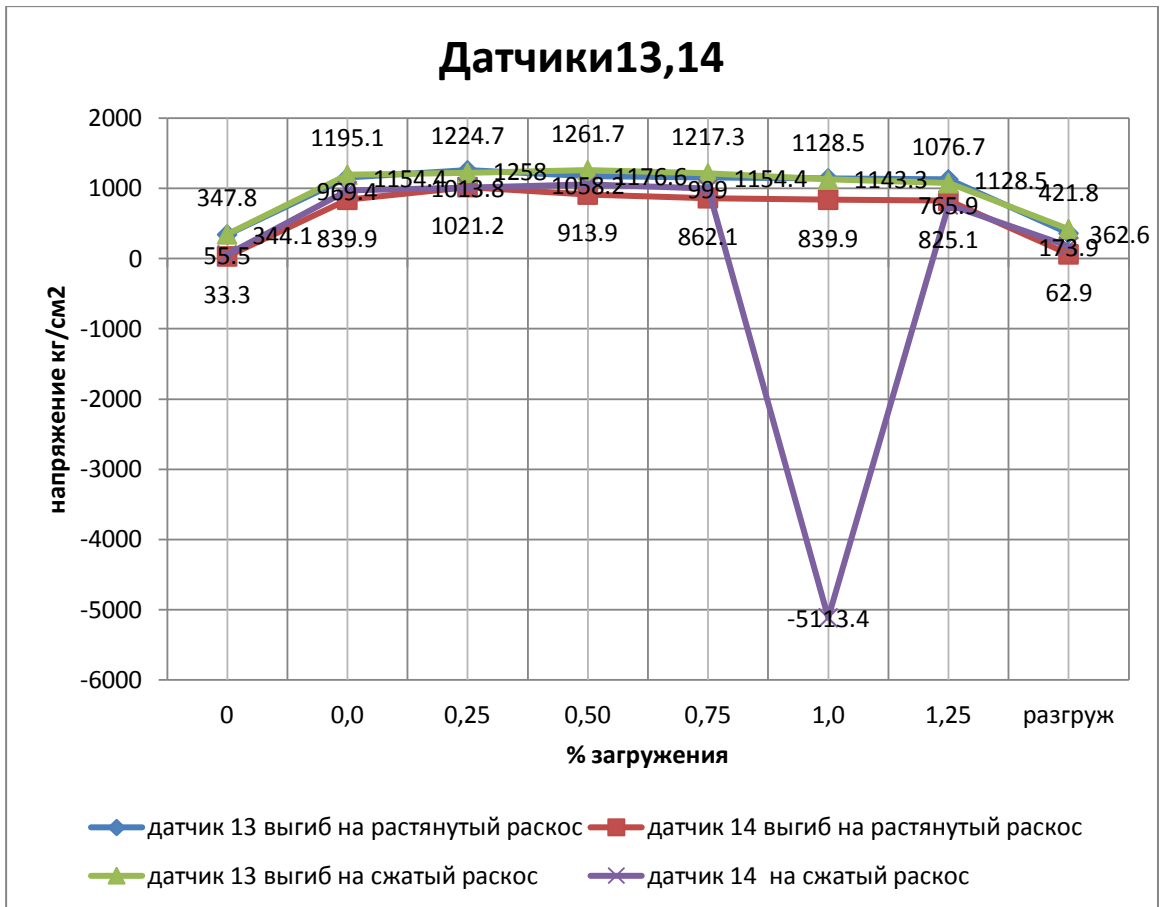
При анализе поведения опоры с несовершенствами решетки в нижней секции, была выявлена специфика ее действительной работы под нагрузкой. Вследствие выполнения сопряжения элементов решетки непосредственно на поясах, а также повышения деформативности дефектных стержней и малой жесткости пояса на кручение, - нагружение опоры приводит к повороту пояса. В случае выгиба элементов решетки на сжатый раскос, поворот пояса в узле вдоль продольной оси способствует увеличению изгибающего момента в расчетном сечении сжатых раскосов соседних панелей. Данный вывод сделан на основании НДС в момент потери устойчивости сжатого раскоса при стрелке выгиба элементов решетки на сжатый раскос равном $1/70 l$. Потеря устойчивости раскоса произошла при 100% загрузке от предельной нагрузки (рисунок 3.10). Следовательно, данная конструкция шарнирно-стержневой системы является чувствительной к конструктивным несовершенствам.

При изгибе элементов на растянутый раскос, НДС имеет иной характер, чем при изгибе на сжатый раскос. Прогиб узла пересечения изогнутых раскосов из плоскости грани опоры, находящейся под нагрузкой, практически отсутствует, а за счет малой деформативности изогнутых раскосов из плоскости грани отсутствует догружающий изгибающий момент в сжатых раскосах соседних панелей.

Общая же картина изменения продольной силы в элементах опоры практически не зависит от направления выгиба. При этом интенсивность изменения продольной силы в случае выгиба на сжатый раскос зависит от первоначальной стрелы искривления и практически не изменяется при выгибе на растянутый раскос. Это можно объяснить тем, что при выгибе на сжатый раскос величина продольной силы в нем увеличивается, а в растянутом уменьшается, т.е. поддерживающие свойства в нем снижаются и получается более деформированная система. В случае выгиба на растянутый раскос его поддерживающие свойства увеличиваются за счет более рациональной деформированной схемы панели опоры, при которой продольная сила увеличивается в обоих стержнях панели. Однако, перераспределение усилий в стержнях с деформированными элементами не отразилось на общей деформативности системы, и после снятия нагрузки вернулись в прежнее состояние.

Анализ экспериментальных исследований поведения решетки выявил специфику действительной ее работы под нагрузкой при возникновении общих искривлений решетки в пределах одной панели на сжатые и растянутые элементы.

а)



б)

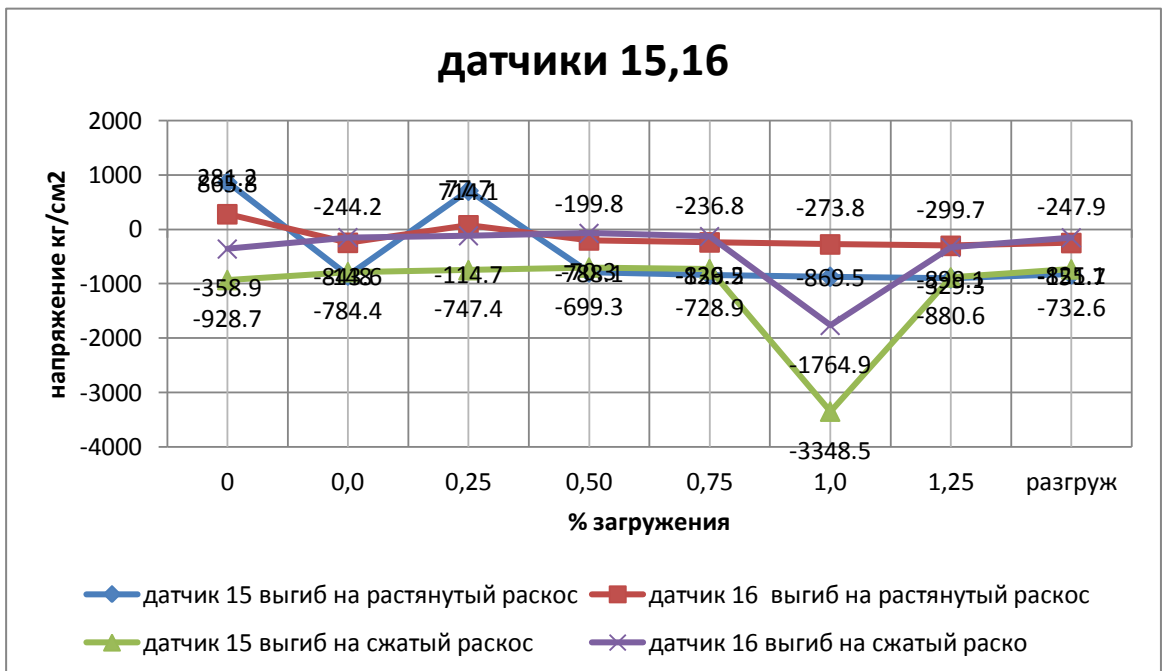


Рисунок 3.10 - Диаграммы напряжений в элементах опоры: а – пояс опоры; б – решетка опоры.

3.4. Экспериментальные исследования конструкции опоры У220-2р+9 в аэродинамической трубе МАТ-1 ДонНАСА

3.4.1. Факторы приводящие к аэродинамическим исследованиям

Методика физического и численного моделирования процессов обтекания сооружений ветровым потоком представляет собой систематический подход к исследованию воздействия ветра на сооружения. Эта методика включает в себя разработку математических моделей и проведение физических экспериментов, которые позволяют анализировать и предсказывать воздействие ветровых сил на сооружения различных форм и размеров.

Физическое моделирование включает создание уменьшенных масштабных моделей сооружений и проведение экспериментов в специальных аэродинамических трубах или на натуральных объектах исследования. Это позволяет изучать влияние наиболее важного фактора такого как форма сооружения.

Численное моделирование основано на решении уравнений непрерывности импульса и энергии, которые описывают движение воздуха вокруг сооружения. С использованием компьютерных программ и методов численного анализа, такого как метод конечных объемов, моделируются процессы обтекания и вычисляются аэродинамические характеристики сооружения, такие как силы, моменты, давления создаваемое ветровым потоком.

Методика физического и численного моделирования процессов обтекания сооружений ветровым потоком является важным инструментом для разработки и оптимизации конструкций, обеспечивающих устойчивость и безопасность при действии ветровых нагрузок. Она позволяет предсказывать поведение сооружений в различных условиях ветра и принимать обоснованные решения в процессе проектирования и эксплуатации.

Анализ поведения конструкций в ветровом потоке обнаруживает наряду со статическими деформациями изгиба в плоскости действия ветра и бокового выпучивания из этой плоскости большое разнообразие явлений статической и динамической неустойчивости [115,116]. Они обусловлены формой поперечного сечения, конфигурацией сооружения и его ориентацией относительно направления ветрового потока, упругими и демпфирующими свойствами конструкций, структурой ветра и другими обстоятельствами. Эти явления связаны с определенным типом колебаний и заслуживают особого внимания с точки зрения механизма их возникновения. В то же время они представляют серьезную опасность для надежности и долговечности конструкций.

Ветровые нагрузки делятся на статические и динамические. В соответствии с этим аэроупругие явления также подразделяются на статические и динамические. Динамические явления характеризуются различными режимами колебаний.

Характер обтекания тел потоком воздуха обусловил их деление на удобо и плохообтекаемые. Несмотря на такое разделение, их поведение в потоке воздуха или газа управляются одними и теми же законами аэродинамики.

Причины возникновения аэроупругих явлений различны и определяются как характером внешнего воздействия (влияние потенциального потока, вихревого движения, аэродинамического деформирования возмущенного потока, пульсаций давлений и атмосферной турбулентности), так и свойствами конструкций, обтекаемых ветровым потоком [116].

Для уточнения лобового давления (C_x) от ветрового воздействия с учетом угла атаки ветра относительно профиля трассы линии электропередач выполнено экспериментальное исследование в аэродинамической трубе МАТ-1, разработанной в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДОННАСА) [53,118]. Характеристики МАТ-1 приведены на

рисунке 3.12: рабочая часть закрытого типа - длина 4,8 м; ширина 1,0 м; высота 0,7 м; диаметр поворотного круга 0,9 м; максимальная скорость потока 20 м/с; 1 вентилятор мощностью 8 кВт, 220 В.

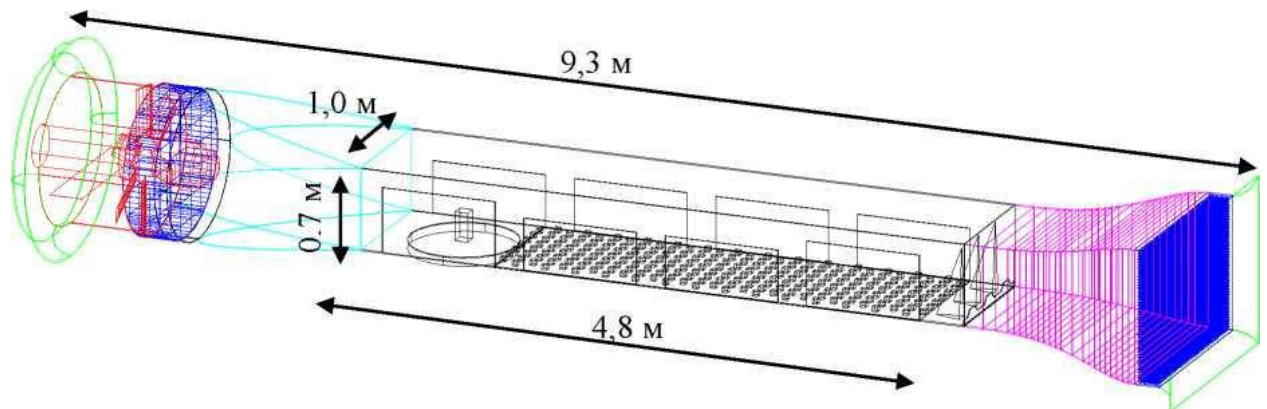


Рисунок 3.12 - Схема метеорологической аэродинамической трубы МАТ-1, ДонНАСА.

3.4.2. Распределение скорости масштаба турбулентности в рабочем канале МАТ-1

Свойства поверхности местности разделяют ее на четыре типа в зависимости от характеристик шероховатости. Типы местности с описанием особенностей поверхности, минимальной высотой элементов, формирующих шероховатость (z_{min}), и показателем профиля представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Типы местности и их параметры

Тип местности	Описание свойств поверхности	z_{min}	l/a
1	2	3	4
I	Протяженные водные пространства, открытое море, ровная местность, поверхность, покрытая снегом и льдом	2 м	0,08 - 0,12
II	Типичные ландшафты с зелеными насаждениями, полями, пастбищами	4 м	0,13 - 0,18
III	Лесные массивы, низкие застройки, окраины города (пригород), маленький город	8 м	0,20 - 0,24
IV	Центры городов с высотными зданиями	16 м	0,28 - 0,40

В результате проведенных экспериментальных исследований был получен график распределения скорости потока (рисунки 3.13,3.14) [53,118] в рабочем канале МАТ-1.

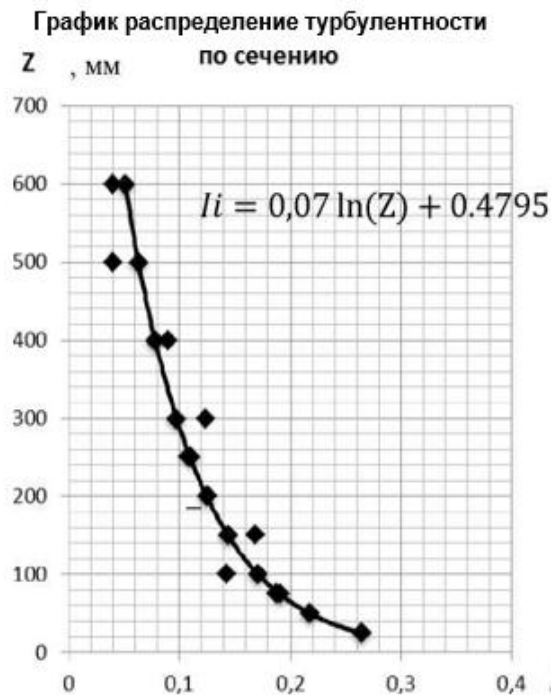
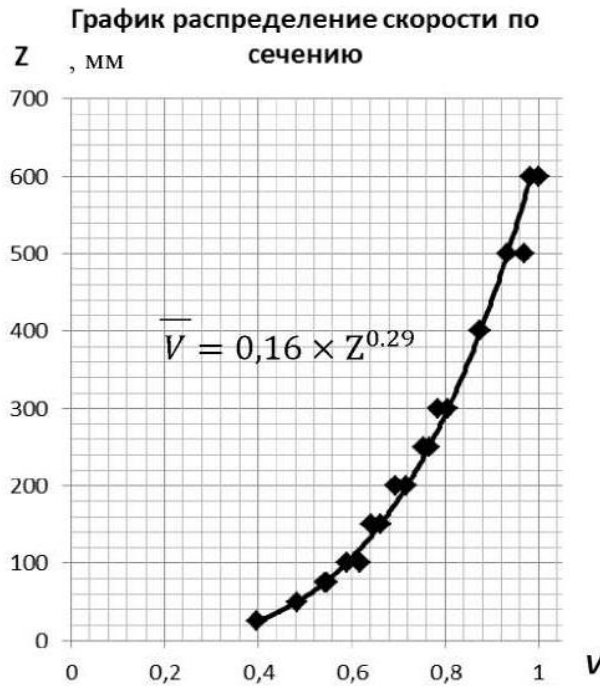


Рисунок 3.13 – Распределение скорости потока в вертикальной плоскости рабочего канала МАТ-1.

Рисунок 3.14 – Распределение турбулентности потока в вертикальной плоскости рабочего канала МАТ-1

3.4.3. Система сбора и обработки данных

Основные характеристики оборудования системы сбора и обработки данных в аэродинамической трубе представлены в таблице 3.3.

Оценка ошибок определения относительных коэффициентов ветрового давления с помощью разработанной системы SCADA:

$$\theta_{C_{P_i}} = \gamma_{C_{P_i}} \times C_{P_i} = \frac{\theta_{\Delta P_i}}{q} + C_{P_i} \frac{\theta_q}{q} = 0,025 + 0,013 \times C_{P_i} = 0,02 -$$

систематическая ошибка

$$\varepsilon_{C_{P_i}} = t \times \sigma_{C_{P_i}} = 1,6 \times 0,0011 = 0,02 - \text{случайная ошибка мгновенного значения}$$

$$\sigma_{M_{Cp_i}} = \sqrt{\frac{(\sigma_{C_{P_i}})^2}{n}}; 0,01 < \sigma_{M_{Cp_i}} < 0,038 \text{ – среднеквадратичное отклонение}$$

$$\Delta_{Cp_{кр}} = K \sqrt{\frac{\theta_{Cp_i}^2}{3} + \varepsilon_{Cp_{кр}}^2}; 0,03 < \Delta_{Cp_{кр}} < 0,1 \text{ – полная ошибка}$$

Таблица 3.3 – Основные характеристики оборудования

Наименование оборудования	Характеристика	Показатель
Датчик малого давления MOTOROLA MPX5004DP	- диапазон измерение давления - корпус - температурная компенсация - выходной сигнал	0 - 3,92 кПа пластиковый №1351 - позволяющий измерять разницу P1-P2 10 -60°C 0 - 4,9 В
Датчик влажности воздуха ДВ-03	- выходной сигнал - диапазон измерений	4 - 20мА, 0 - 10 В, RS 485 0 - 100%
Датчик температуры ТС 3194-Pt1000.B2.250/2	- диапазон измерений - погрешность - выходной сигнал	-50 - +120°C (0,3+0,005t)°C RS 485
Периферийный процессор ТРМ 138	- количество измерит. каналов - входной сигнал - выходной сигнал	8 0 - 1 В RS 485
Преобразователь АС-3М	- входной сигнал - выходной сигнал	RS 485 RS 232
ЭВМ	- материнская плата	с расширителем COM - порт
Коммутационное оборудование	- экранированный кабель - установленная система SCADA OWEN OPC	5-ти жильный частота опроса датчиков 1Гц Графическое

3.4.4. Методика экспериментальных исследований в аэродинамической трубе МАТ-1

Для оценки влияния ветрового потока на металлические опоры ВЛ, разработана программа масштабных экспериментальных исследований в лаборатории строительной аэродинамики в метеорологической аэродинамической трубе (МАТ-1) ДОННАСА. Программа включает в себя тензометрические исследования, которые позволяют выявить диапазон скоростей набегающего ветрового потока, при котором достигается критерий подобия по числу Рейнольдса.

При проведении исследований моделировалась опора У220-2р+9 с имитацией проводов и без них (рисунок 3.15). Масштаб модели выбран с соблюдением геометрического подобия и учета характеристик площади поперечного сечения аэродинамической трубы МАТ-1.

Модели соответствуют натурным конструкциям реальных объектов исследования, и выполнены с помощью 3D печати. Цифровые модели, по которым производилась 3D печать, использованы в численных исследованиях, что позволяет избежать погрешностей при проведении верификации численных и экспериментальных исследований.

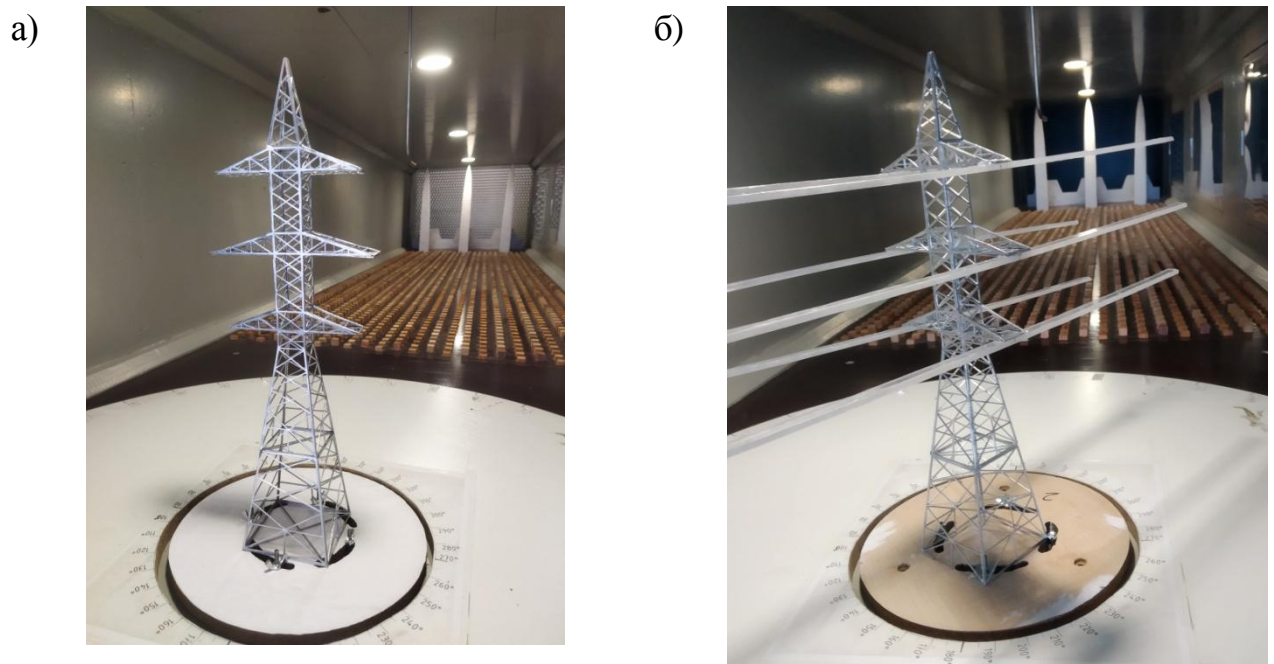


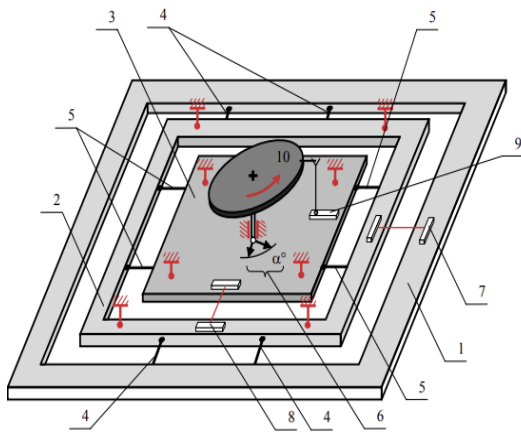
Рисунок 3.15 - Модель опоры У 220-2р+9 в рабочей части аэродинамической трубы МАТ-1: а) без имитации проводов; б) с имитацией проводов.

3.4.5. Программа исследований на тензометрических весах

Тензометрические весы выполняют функцию измерения внешнего силового воздействия ветрового потока на модель, позволяя определить силы, направленные по осям X, Y, Z, а также моменты, действующие вокруг соответствующих осей. Аэродинамическая лаборатория ДонНАСА разработала систему, основанную на мировом опыте, для определения аэродинамических характеристик зданий и сооружений. Эта система включает аэродинамическую трубу МАТ-1, тензометрические весы (разработанные в ПолтНТУ), аналогово-цифровой преобразователь (созданный в ДонНАСА) и персональный компьютер с программной системой SCADA.

Конструктивная схема трехкомпонентных весов, измеряющих лобовое сопротивление, подъемную силу, аэродинамический момент приведена на рисунке 3.16.

а)



б)



Рисунок 3.16 – Трех компонентные аэродинамические весы: а) кинематическая схема; б) фото весов: 1-основание; 2-подвижная рамка Y; 3-подвижная рамка X; 4,5-растяжки; 6-измеритель угла поворота; 7-датчик Y; 8-датчик X; 9-датчик Z; 10-платформа.

Перед началом испытаний необходимо установить тензометрические весы в аэродинамическую трубу МАТ-1, проверить горизонтальность и жесткость закрепление весов. После этого провести калибровку и проверку весов с помощью установки эталонных гирь Г-4-211.10, начиная от 1 грамма

до 100 грамм и сверки полученных данных от пригруза с показателями системы SCADA. После проведенной калибровки и проверки оборудования исследуемая модель устанавливается на весы и закрепляется винтами.

Испытуемая модель обдувается на различных скоростях от 3м/с до 25м/с для выявления критического числа Рейнольдса и поиска оптимальной скорости набегания ветрового потока для последующих дренажных испытаний. Данная операция проводится для моделей с углами атаки ветрового потока на испытуемую модель от 0^0 до 90^0 с шагом 10^0 .

Цель проведения весовых тензометрических испытаний - нахождение коэффициента полного давления C_x с учетом моделирования проводов.

С использованием тензометрических трехкомпонентных весов был проведен эксперимент, в результате которого был определен коэффициент полного давления (C_x). На первом этапе эксперимента были получены данные по продувкам модели на различных скоростях позволили проанализировать, на какой скорости набегающего потока достигается критерий подобия (автомодельность). С использованием этого метода было проанализировано соответствие критерию подобия по числу Рейнольдса (см. рисунок 3.17).

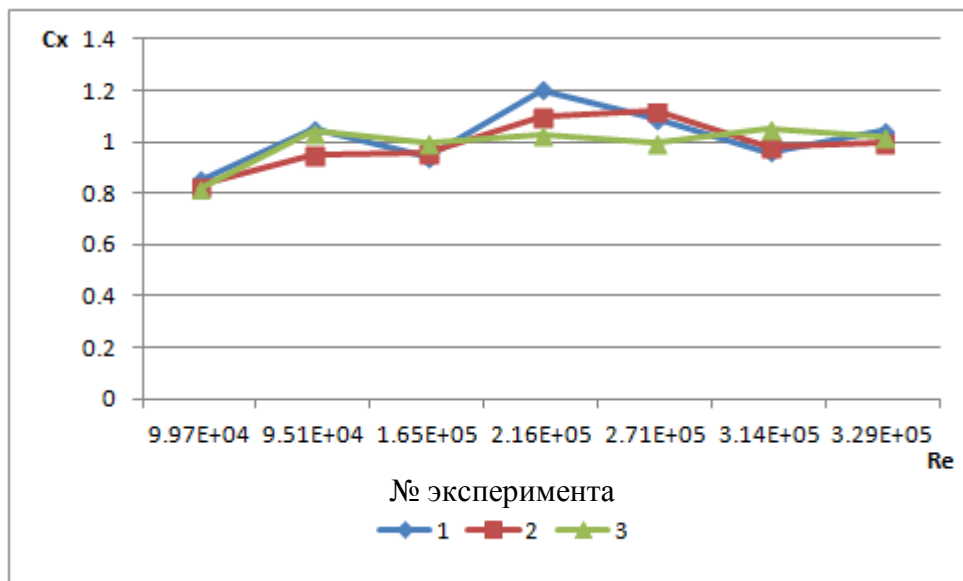


Рисунок 3.17 – Экспериментальная зависимость $C_x=f(Re)$

На основании проведенных экспериментальных исследований было установлено, что выявленный коэффициент $C_x = 1,31$ (коэффициент сопротивления) не превышает нормативное значение, установленное на уровне 1,4, с отклонением не более чем на 15%. Кроме того, были подтверждены наиболее нагруженные углы атаки (принимаемые для расчета по [ПУЭ]), которые составляют 45^0 и 90^0 .

3.5. Выводы по разделу 3

1. Несущая способность по критериям прочности и устойчивости, соответствующей первой группе предельных состояний, для опоры У220-2р+9, работающей с несовершенствами близкими к критическим - обеспечивается.

2. Дефектов в виде деформаций, связанных с работой конструкции с несовершенствами, после снятия нагрузок с опоры не выявлено, что свидетельствует о эксплуатационной пригодности конструкции в целом.

3. Изменения продольной силы в элементах опоры фактически не зависят от направления выгиба раскоса решетки в нижней секции. При этом интенсивность изменения продольной силы, в случае выгиба на сжатый раскос, зависит от первоначальной стрелы искривления и практически не изменяется при выгибе на растянутый раскос.

4. Результаты экспериментальных исследований показали существование различного влияния от выгиба на элементы с различными знаками усилий при сжатии и растяжении.

5. Полученные результаты могут быть применимы к большинству конструктивных форм в виде ферм с крестовой решеткой.

6. На основании экспериментальных исследований определено, что аэродинамический коэффициент C_x равный 1,31, не превышает нормативного значения (1,4). При этом подтверждены наиболее нагруженные углы атаки ветрового потока в 45^0 и 90^0 .

РАЗДЕЛ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ВЛ С УЧЕТОМ ПОВТОРЯЕМОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

4.1. Анализ потока отказов высоковольтных линий электропередач

Высоковольтные линии электропередач на металлических опорах и работающие при напряжениях 35-330 кВ, относятся к восстанавливаемым объектам. В контексте эксплуатационной надежности этих линий, одним из основных показателей является поток отказов, обозначаемый символом ω . Поток отказов зависит от продолжительности эксплуатации и характеризуется несколькими параметрами. Важными из них являются:

- максимальное снижение потока отказов после периода приработки, определенное в момент времени t_1 . Этот параметр отражает уровень стабилизации работы линии после начального периода эксплуатации, когда вероятность отказов снижается.

- значение, которое соответствует сроку службы $t=30$ лет.

- начало интервала времени t_2 и конец интервала времени t_3 , в котором значение потока отказов ω остается неизменным. Это указывает на период стабильной работы линии, когда поток отказов не претерпевает значительных изменений.

Согласно обработке статистической информации об отказах высоковольтных линий электропередач напряжением 35-330 кВ на металлических опорах, были определены следующие значения параметров: $t_1=4$ года, $t_2=12$ лет и $t_3=25$ лет. Это означает, что после ввода в эксплуатацию линии электропередач происходит снижение потока отказов в течение первых 4 лет (период приработки). Затем значение потока отказов остается стабильным в течение интервала времени от 4 до 25 лет. После 25 лет эксплуатации увеличивается возникновение отказов (рисунок 4.1).

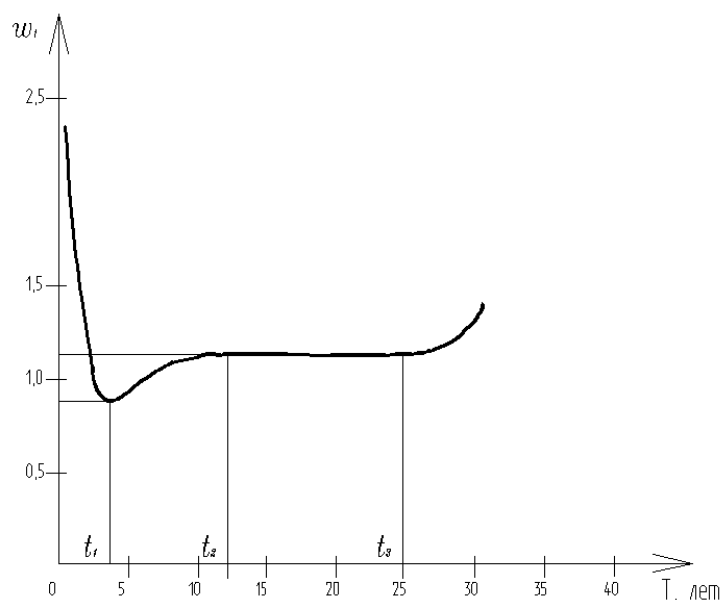


Рисунок 4.1 - Зависимость параметра потока отказов от времени

Анализ причин отказов воздушных линий электропередачи позволяет сделать вывод о том, что поток отказов в линии можно рассматривать как сумму двух компонентов. Первый компонент связан с износом и старением элементов линии, и его величина зависит от срока службы линии. Второй компонент определяется случайными внешними воздействиями на линию:

$$\omega = \omega_1(t) + \omega_2 \quad (4.1)$$

Параметр потока отказов первого вида представляет собой функцию времени эксплуатации и обусловлен различными факторами, связанными с коррозионным износом и старением элементов воздушных линий электропередачи. Этот вид отказов происходит из-за деградации металлических опор, износа электрической арматуры, проводов, тросов и изоляторов.

Уменьшение компоненты потока отказов первого вида, обозначенной как $\omega_1(t)$, возможно путем принятия мер по повышению качества эксплуатации и применения конструкций с повышенной долговечностью.

Отказы второго вида возникают из-за воздействия экстремальных климатических нагрузок, дефектов в монтаже и изготовлении, наездов на опоры, умышленных повреждений, пожаров, наводнений, оползней и других внешних факторов. Параметр ω_2 , относящийся к этому виду отказов, не зависит от

длительности эксплуатации ВЛ, периодичности капитальных ремонтов или других эксплуатационных факторов. Он определяется случайными причинами, связанными с внешними воздействиями.

Уменьшение потока отказов второго вида возможно только при повышении первоначальных прочностных параметров конструкции и электрической арматуры, а также улучшении качества строительства.

Для оценки риска аварии воздушной линии электропередачи может быть использован следующий алгоритм:

- проведение анализа проектной документации, определение класса надежности и условий эксплуатации, изучение информации о предыдущих ремонтно-восстановительных работах;

- выявление «слабых звеньев» в системе, которые могут стать причиной аварий;

- проведение обследования конструкций и анализ полученных данных;

- оценка стандартных значений риска, учитывая требования потребителя, текущее техническое состояние и финансовые возможности собственника, которые определяют объем планируемых работ;

- пересчет элементов воздушной линии с учетом показателей риска и текущего уровня надежности;

- принятие решений по восстановлению нормальной эксплуатации линии с обеспечением гарантированного срока службы.

Данный алгоритм позволяет систематически оценить риск аварии и разработать план действий по восстановлению и обеспечению безопасной эксплуатации воздушной линии. Он основан на анализе технических и эксплуатационных данных, а также учете требований заказчика и финансовых возможностей.

Для осуществления шестого этапа необходима установить остаточный ресурс. Под остаточным ресурсом подразумевается срок безаварийной работы с учетом имеющихся конструктивных несовершенств и повторяемости гололедно-ветровых нагрузок и их сочетаний.

Наиболее комплексным показателем конструктивной безопасности является интегральная оценка критических дефектов и повреждений (несовершенств конструкций). Такие несовершенство конструкции, полученные и накопленные в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций - положены в основу расчетной оценки риска аварии путем ранжирования по степени опасности для конструкции в целом. Из чего следует, что безопасность конструкции в целом сводится к определению показателей безопасности ее отдельных составляющих (элементов), обусловленной изменением их механических и геометрических характеристик.

Теоретические вероятности аварии, которые закладываются при проектировании, в основном отличаются от действительных, так как в процессе эксплуатации появляются дефекты и повреждения элементов конструкции. На практике оценку риска, определяемую вероятностными и полувероятностными методами, тяжело уловить ввиду малых величин, тогда оценку рисков следует проводить не по значениям вероятности безотказной работы, а по относительным показателям, которые позволяют оценивать резервы несущей способности элементов конструкции с несовершенствами.

В области теории надежности рассматриваются методы, предназначенные для оценки надежности систем на основе известных законов распределения вероятности безотказной работы их составных элементов.

Если система состоит из t последовательно соединенных элементов, надежности которых P_1, P_2, \dots, P_t известны, и отказы элементов представляют собой статистически независимые события, то надежность системы определится:

$$P_t = \prod_{i=1}^t P_i = \prod_{i=1}^t (1 - Q_i), \quad (4.2)$$

где Q_i – вероятность отказа i -того элемента.

В этом случае надежность системы не превышает надежности наиболее «слабого» элемента. Если не учитывать корреляцию между

работоспособностью элементов, то оценки надежности рассматриваемой системы будут находиться в пределах:

$$\prod_{i=1}^t (1 - Q_i) \leq P_t \leq P_{imin}. \quad (4.3)$$

Для системы с параллельно соединенными элементами, если отказы элементов – независимые случайные события, вероятность системы определится как:

$$Q_t = \prod_{i=1}^t Q_i, \quad (4.4)$$

а вероятность безотказной работы как:

$$P_t = 1 - \prod_{i=1}^t (1 - Q_i). \quad (4.5)$$

При параллельном соединении надежность системы выше надежности любого отдельного элемента. Для строительных конструкций такая схема не находит широкого применения, так как отказ одного из элементов приводит в статически неопределимых системах к перераспределению усилий в отдельных элементах и увеличивается интенсивность отказов элементов, продолжающих работать. В этом случае отказы отдельных элементов уже не являются статистически независимыми. Чаще строительные конструкции рассматриваются как системы, одновременно состоящие из последовательно и параллельно соединенных элементов, для которых сначала определяют вероятность безотказной работы для каждой группы параллельно соединенных элементов, а затем приводят систему к системе с последовательным соединением [145].

Исследования в данной области подтверждают, что определение надежности многоэлементной системы, представляющей собой расчетную модель сооружения, является весьма сложной задачей [17,19,124]. Обычно методами строительной механики определяется НДС всей системы, а проверка надежности производится для сечений или, в лучшем случае, для элементов конструкций.

Таким образом, при рассмотрении воздушной линии с целью оценки ее остаточного ресурса необходимо выполнить следующее:

- выполнить визуальную оценку технического состояния элементов линии с целью выполнения текущего ремонта, определив предварительную стоимость последнего;
- выполнить оценку надежности и ресурса воздушной линии с учетом повреждений, ликвидация которых связана со значительными капитальными вложениями;
- сопоставить затраты на выполнение ремонтных работ со стоимостью линии и предполагаемым доходом от ее эксплуатации, после чего принять решение о дальнейших мероприятиях по восстановлению либо поддержанию эксплуатационной надежности сооружения.

В данном случае первая задача носит технический характер, положения которого в значительной мере проработаны, третья задача является экономической, и только вторая задача представляет на данном этапе определенные трудности. С одной стороны решение задачи надежности распределенных систем в вероятностной постановке в «чистом» виде не представляется возможным. С другой стороны существующие методы оценки надежности, как правило, «работают» только при проектировании.

4.2. Методологические аспекты определения остаточного ресурса

При обнаружении дефектов и повреждений, которые ухудшают несущую способность конструкции воздушной линии электропередачи, необходимо провести ее ремонт. Однако задача заключается в оценке оставшегося ресурса до возможного разрушения конструкции при заданном уровне риска аварии. Эта задача является своего рода обратной к проблеме определения расчетной нагрузки при известном сроке эксплуатации.

Наиболее важными факторами, влияющими на надежность и долговечность воздушных линий электропередачи, являются превышение

природно-климатических нагрузок над расчетными значениями, а также коррозионно-механический износ и повреждения элементов опор. Особенно опасным фактором является ветровая нагрузка, при условии, что гололедные нагрузки контролируются путем удаления ледяных образований до безопасного уровня, а вероятность обрыва проводов и тросов достаточно низка.

Исходя из условия равнообеспеченности оставшегося ресурса, вероятность непревышения предельного значения ветровой нагрузки W' в течение этого периода не должна быть меньше вероятности непревышения расчетной нагрузки W на протяжении срока службы линии ($W' < W$).

Традиционно принято рассматривать надежность конструкции как функцию случайных величин действующих нагрузок и изменчивости прочности строительных материалов (рисунок 4.2). В данном случае при проработке методики изменчивость физико-механических свойств материалов учитывалась косвенным путем согласно рекомендаций МЭК [58].

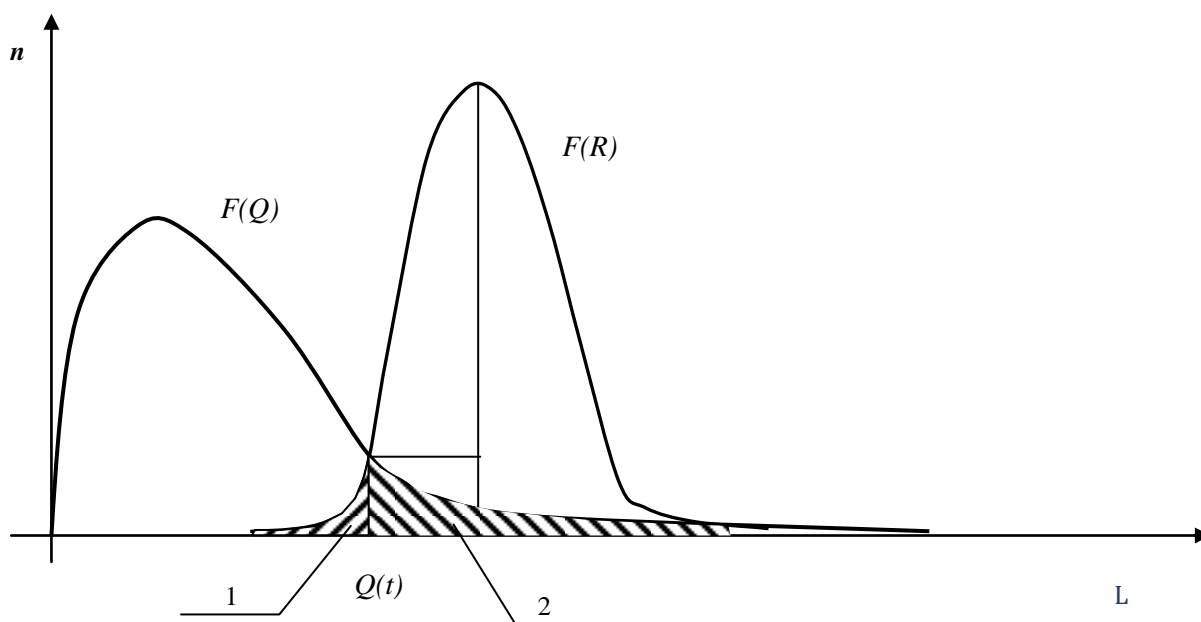


Рисунок 4.2 - Функции плотности вероятности нагрузки и прочности

В частности стандарт МЭК рекомендует в случае только описания процесса нагрузок как случайного и использование детерминированного

значения прочности для определения минимальной годовой надежности использовать выражение:

$$P(S) = 1 - \int_{Q(t)}^{\infty} F(Q) dL = 1 - \frac{1}{T}, \quad (4.6)$$

а для случая вариации и нагрузки и прочности использовать приближенное выражение:

$$P(S) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} F(Q) \cdot F(R) dL \cong 1 - \frac{1}{2T} \quad (4.7)$$

где (графическую интерпретацию см. рис. 4.2):

$F(Q)$ – функция плотности вероятности внешних нагрузок, при V_Q – коэффициенте вариации нагрузки в пределах 20-50%;

$F(R)$ – функция плотности вероятности прочности, при V_P – коэффициенте вариации нагрузки в пределах 10-20%;

$Q(t)$ – нагрузка соответствующая периоду повторяемости T ;

L – эквивалентная единица измерения нагрузки и прочности (наиболее часто применяется усилие в элементе).

Исходя из Гауссова распределения прочности 10% вероятность [58] соответствует величине 1,28 стандарта отклонений ниже среднего значения (k), следовательно:

$$R_c = \bar{R}(1 - kV_R). \quad (4.8)$$

Так для нормирования показателей надежности принята классификация предложенная специалистами ОАО «Укрэнергопроект»:

1-й класс надежности – ВЛ 35–220 кВ при $T=50$ лет.

2-й класс – ВЛ 330 кВ (кроме указанных выше) при $T=50$ лет.

3-й класс – ВЛ 330 кВ выдачи мощности станций и ВЛ 400 – 500 кВ при $T=150$ лет.

4-й класс - ВЛ 750 кВ при $T=500$ лет (где T повторяемость атмосферных воздействий).

Тогда согласно выражению вероятность превышения нагрузок над предельными за срок службы линии (согласно действующих норм – $t=50$ лет), т.е. надежность линии, составит:

$$P(T) = \left(1 - \frac{1}{2T}\right)^t. \quad (4.9)$$

Таким образом, для определения надежности существующей линии необходимо вычислить повторяемость нагрузок, которые последняя может выдержать без отказа элементов.

4.3. Методика определения предельных нагрузок на металлические опоры ВЛ при гололедно-ветровых воздействиях

Для определения остаточного ресурса линии следует воспользоваться следующей методикой.

Так как существуют несколько расчетных режимов для промежуточных опор воздушных линий электропередачи, которые нормируются требованиями ПУЭ, то при проведении реконструкции число расчетных режимов может быть существенно увеличено.

Рассмотрим расчетный режим совместного действия ветра с гололедом. В данном случае нормативный документ [78] рекомендует учитывать три расчетных подрежима:

- режим максимального веса гололедных отложений при сопутствующем ветре;
- режим максимального скоростного напора ветра и сопутствующий вес гололедных отложений;
- режим максимальных размеров гололеда при сопутствующем ветре.

В данном случае для визуализации методики будем использовать один расчетный режим, который в данном случае будет максимальным по какому-либо

параметру, имея ввиду что для получения количественных результатов необходим совместный учет трех расчетных режимов.

В ветро-гололедном режиме конструкция промежуточной опоры ВЛ воспринимает следующие нагрузки:

- вес проводов, тросов и изоляторов;
- собственный вес конструкций опоры;
- вес гололеда на проводах и тросах;
- ветровой напор на провода и тросы, покрытые гололедом, с учетом плотности гололедных отложений;
- ветровой напор на конструкцию опоры.

Все указанные нагрузки имеют собственные коэффициенты надежности по нагрузке, и с учетом возможных сочетаний, определяемых долей составляющих от гололеда и ветра в суммарной нагрузке могут существенно отличаться и вносить различный «вклад» в результирующее НДС указанного расчетного режима.

В общем случае при расчетах металлических опор создается расчетная схема, в которой после определения усилий выполняется подбор отдельных элементов. При проектировании реконструкции задача несколько видоизменяется, т.е. согласно существующей конструкции создается расчетная схема, которая проверяется на соответствие расчетным нагрузкам.

Учитывая все вышесказанное, результирующее усилие в элементе опоры ВЛ можно записать следующим образом:

$$\sigma_{рез} = \sigma_{св}^{np} + \sigma_{св}^{on} + \sigma_{т}^{np} + \sigma_{т}^{on} + \sigma_{з}^{np} \leq R_y \gamma_c \quad (4.10)$$

где $\sigma_{псв}$ $\sigma_{онсв}$ – напряжения в элементе от собственного веса проводов, тросов и опоры;

$\sigma_{прв}$ $\sigma_{прг}$ $\sigma_{онг}$ – соответственно напряжения в элементе от ветрового давления на провода и трос покрытые гололедом, от веса гололеда на проводах и тросах, ветрового давления на конструкцию опоры.

Отделив варьируемые параметры в левой части от определенных параметров получим:

$$\sigma_{\epsilon}^{np} + \sigma_{\epsilon}^{on} + \sigma_z^{np} \leq R_y \gamma_c - \sigma_{c\epsilon}^{np} + \sigma_{c\epsilon}^{on} \quad (4.11)$$

Таким образом, на основании выражения (4.11) можно достоверно определить напряжения в элементе, которые обусловлены действием климатических, т.е. варьируемых во времени нагрузок. С учетом требований СП [107] и принципа суперпозиции сил предыдущее выражение записывается следующим образом:

$$\frac{(N_z^{ed} \cdot g_z^{np}) + (N_{\epsilon}^{ed} \cdot W_{\epsilon}^{on}) + (N_{\epsilon}^{ed} \cdot W_{\epsilon}^{np})}{\varphi \cdot A \cdot c_d} \leq R_y \gamma_c - \sigma_{c\epsilon}^{np} + \sigma_{c\epsilon}^{on}, \quad (4.12.)$$

где N_{edz} , $N_{ed\epsilon}$, $N_{ed\epsilon}$ – усилия в элементе металлической конструкции от единичных нагрузок от веса гололеда, ветрового давления на конструкцию опоры и ветрового давления на провода, покрытые гололедом;

g_{np} , $W_{on\epsilon}$, $W_{np\epsilon}$ – искомые предельные усилия от веса гололеда, ветрового давления на конструкцию опоры и ветрового давления на провода, покрытые гололедом;

φ , A , c_d – характеристики элемента согласно [107].

Для каждой метеостанции, и для каждого исследуемого параметра климатической нагрузки (в данном случае для расчетных значений N) справедливо следующее выражение:

$$N = a' \cdot \ln(T) + b', \quad (4.13)$$

где T – средний период повторяемости климатической нагрузки, лет;

a' , b' – параметры климатической нагрузки по данной метеостанции.

Выразив из (4.13) период повторяемости получим выражение:

$$T = a \cdot e^{b \cdot x}, \quad (4.14)$$

где a , b – параметры климатической нагрузки по данной метеостанции, которые являются функциями a' , b' ;

x – расчетное значение нагрузочного параметра.

Выражение (4.14) для каждого нагрузочного параметра содержит два неизвестных: x и T . Таким образом, с учетом (4.12) получаем систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(N_g^{ed} \cdot g_z^{np}) + (N_g^{ed} \cdot W_g^{on}) + (N_g^{ed} \cdot W_g^{np})}{\phi \cdot A \cdot c_d} &= R_y \gamma_c - \sigma_{св}^{np} + \sigma_{св}^{on} \\ a_z^{np} \cdot e^{\epsilon_z^{np}} \cdot g_z^{np} &= T_x \\ a_g^{on} \cdot e^{\epsilon_g^{on}} \cdot W_g^{on} &= T_x \\ a_g^{np} \cdot e^{\epsilon_g^{np}} \cdot W_g^{np} &= T_x \end{aligned} \right\} (4.15)$$

Приведенная методика также позволяет оценить степень влияния каждого из климатических параметров на результирующее НДС элементов металлической опоры ВЛ с учетом одинаковой вероятности их проявления. Одним из основных результатов использования данной методики является определение предельных нагрузок, которые может выдержать существующая конструкция опоры ВЛ, запроектированная по ранее действующим нормативам, и безопасный ресурс.

4.4. Определения предельных нагрузок на металлическую опору

В качестве примера принята двухцепная промежуточная металлическая опора У-220-2р+9, однако полученные результаты применимы для всех металлических опор.

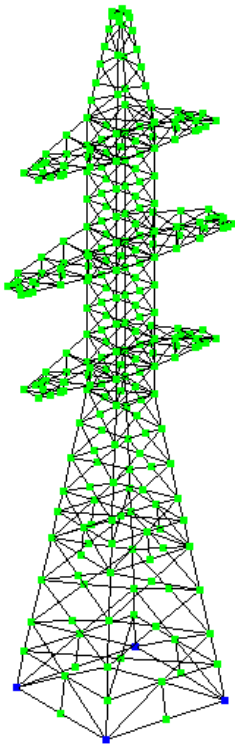


Рисунок 4.3 - Расчетная схема опоры У-220-2р+9

Решение системы позволит определить остаточный ресурс, а также предельные нагрузки на исследуемую конструкцию, и период повторяемости указанных нагрузок.

В качестве примера применения приведенной методики рассмотрим опору У-220-2р+9 (рисунок 4.3), которая была запроектирована для второго гололедного ($v=10\text{мм}$) и третьего ветрового районов ($q=500\text{Па}$). Ветровой пролет в данном случае, при использовании провода АС240/32 и троса С-50 составляет 380м. Для данной опоры в гололедно-ветровом режиме определяющими являются пояса средней и верхней секции. Однако из-за дискретности сортамента в

указанных выше элементах металлической опоры существует определенный запас прочности, а наиболее нагруженным элементом является пояс верхней секции U3 ниже траверс в месте изменения угла наклона поясов.

Несущая способность наиболее нагруженного элемента за вычетом напряжений от собственного веса составляет:

$$R_y \gamma_c - \sigma_{св}^{np} + \sigma_{св}^{on} = 165 \text{ МПа} \quad (4.16)$$

Далее задаемся сочетаниями климатических параметров, например, по метеостанции Донецк.

Основной проблемой определения трех предельных нагрузок является тот факт, что их периоды повторяемости должны быть одинаковыми. Так как зависимость между средним периодом повторяемости и величиной климатической нагрузки достаточно хорошо описывается логарифмической функцией (4.13), зададимся в первом приближении соотношением веса гололеда, ветрового напора на провод, покрытый гололедом и ветровым напором при гололеде. Так по метеостанции Донецк принимаем следующие значения:

$$N_{едг} = 1,9 N_{едв} = 43,19 N_{едв}. \quad (4.17)$$

Далее решаем систему уравнений итерационным методом, при необходимости корректируя множители между предельными нагрузками в соотношении (4.9), с учетом того, что усилие в элементе не может превышать предельную несущую способность, а периоды повторяемости воздействий должны быть одинаковыми. Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 4.1.

Вероятность не превышения нагрузок за последующие 50 лет эксплуатации составляет 0,1674. Причем данная величина характеризует также величину безотказности опоры в целом, т.к. для второго расчетного (менее «слабого») элемента пояса траверсы St2 вероятность не превышения нагрузок за тот же срок службы составляет 0,999974 (таблица 4.2). Для остальных элементов опоры значения вероятности не превышения нагрузок в ветро-гололедном режиме практически равняются единице.

Таблица 4.1 - Расчетные характеристики для элемента U3 (пояс верхней секции) по метеостанции Донецк

	Вес гололеда	Ветровой напор при гололеде	Ветровой напор на провод покрытый гололедом
Период повторяемости нагрузки, Т, лет	14.2	13.2	13.9
Расчетное значение нагрузки, Н/м (Па)	10.8	135.8	5.98
Напряжения в элементе, от действия нагрузки, МПа	91104.29	4094.470606	69746.51

Таблица 4.2 - Расчетные характеристики для элемента St2 по метеостанции Донецк

	Вес гололеда	Ветровой напор при гололеде	Ветровой напор на провод покрытый гололедом
Период повторяемости нагрузки, Т, лет	977427.8	880564.1908	543269.9
Расчетное значение нагрузки, Н/м (Па)	48	598.6813187	26.37363

В таблице 4.3 для сравнения приведены расчетные характеристики для элемента U3 опоры У220-2р+9 с описанными выше характеристиками, при условии расположения участка ВЛ в зоне действия метеостанций Херсон.

Повысить характеристики конструкции опоры в целом, можно путем увеличения сечения элемента. В данном случае, решение системы относительно периода повторяемости стремящегося к 150 ($T_x \rightarrow 150$) для элемента U3 позволяет сделать следующие выводы. Вероятность не превышения нагрузок за последующие 50 лет эксплуатации составляет 0,844, что практически равняется величине, нормируемой стандартами МЭК и СИГРЕ [145] (таблица 4.4) и лишний раз подтверждает работоспособность методики. Таким образом, величина вероятности

не превышения расчетных значений нагрузок увеличилась с 0,1674 до 0,844699 при увеличении сечения одного элемента всего на 4 см². Увеличение сечения элемента U3 в два раза приводит к увеличению надежности до 0,9927. Такое существенное изменение надежности конструкции промежуточной опоры объясняется несколькими факторами, основным из которых является, то, что остальные элементы опоры, для которых гололедно-ветровой режим является определяющим, имеют существенные запасы.

Таблица 4.3 - Расчетные характеристики для элемента U3 по метеостанциям Херсон

	Вес гололеда	Ветровой напор при гололеде	Ветровой напор на провол. покрытый гололедом
Херсон			
Период повторяемости нагрузки, Т, лет	226.8911	228.450547	228.3604
Расчетное значение нагрузки, Н/м (Па)	9.98	196.618961	6.480519

Таблица 4.4 - Расчетные характеристики для элемента St2 по метеостанции Донецк с учетом усиления

	Вес гололеда	Ветровой напор при гололеде	Ветровой напор на провол. покрытый гололедом
С учетом усиления элемента U3 до требований ПУЭ			
Период повторяемости нагрузки, Т, лет	148.376	146.8309587	137.864
Расчетное значение нагрузки, Н/м (Па)	18.7	236.2214802	10.40623
При увеличении площади элемента U3 в два раза			
Период повторяемости нагрузки, Т, лет	3264.232	2983.47969	2422.243
Расчетное значение нагрузки, Н/м (Па)	29	361.7032967	15.93407

Полученная методика является продолжением комплекса проведенных ранее исследований в области оценки остаточного ресурса эксплуатируемых конструкций

воздушных линий электропередачи. Данная методика позволяет также решать следующие задачи:

- по результатам натурных обследований элементов линий электропередач выявить наиболее аварийные элементы и определить степень риска отказа линии вследствие накопления конструктивных несовершенств;
- представителям страховых компаний предоставить экспертную информацию о значениях риска для данного класса объектов;
- предоставить информацию о остаточном ресурсе линии, и, следовательно, целесообразных сроках страхования;
- разработать комплекс мероприятий по инженерной и страховой защите.

4.5. Выводы по разделу 4.

1. Разработана методика оценки риска металлоконструкций ВЛ по результатам натурных обследований.

2. Разработан алгоритм решения задачи для определения остаточного ресурса конструкции по результатам натурных обследований опор ВЛ с накоплением конструктивных несовершенств.

3. Разработаны правила прогнозирования конструктивного риска всего сооружения в целом с учетом значимости конструктивных элементов в системе.

4. Данная методика позволяет представителям страховых компаний предоставить экспертную информацию о значениях риска для данного класса объектов.

V. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ОПОР ВЛ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

5.1. Структура системы мониторинга технического состояния ВЛ

Ранее отмечалось, что проблемы с передачей электроэнергии (повреждения ВЛ и отказ) вызваны старением основных фондов в связи с эксплуатацией линий от 40, а в ряде случаев от 60 лет, однако не исключены такие факторы как изменение расчетных нагрузок и переоборудование линий [6,68,69,67,81].

Долговечная эксплуатация опор ВЛ зависит от двух основных условий. Во-первых, это качество материалов, процесса изготовления, монтажа и работы конструкций. Во-вторых, это особенности внешних и технологических воздействий, которым опоры подвергаются.

На основе статистических данных о повреждаемости элементов ВЛ можно выявить истинные причины отказов и определить пути усовершенствования системы. Отказы, в свою очередь, играют важную роль в проверке правильности практических решений и теоретических предпосылок. Используя эти данные, проводится анализ причин отказов и разрабатываются меры по усовершенствованию системы ВЛ.

Постоянный мониторинг и анализ данных о повреждениях и отказах позволяют обнаруживать тенденции и прогнозировать потенциальные проблемы, что помогает разработать эффективные стратегии предотвращения отказов и повышения надежности системы. Такой подход позволяет улучшить безопасность и надежность электроснабжения, а также оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт системы ВЛ.

1.5.1. Рекомендации по обеспечению технологической и эксплуатационной безопасности в линиях электропередачи

За последнее время стал весьма актуален вопрос обеспечения надежности высоковольтных линий (ВЛ), в связи с чем должна быть

разработана система государственного регулирования безопасности, которая включает действия административных структур предприятий и организаций для предотвращения аварийных ситуаций на ВЛ. Изучение требований, связанных с обеспечением надежности строительных объектов на протяжении длительного периода эксплуатации и в условиях экстремальных климатических нагрузок, позволяет выявить основные тенденции в развитии технологий для обеспечения надежного энергоснабжения.

Для разработки стратегии формирования программ обеспечения надежности необходимо систематизировать важные исследовательские и технологические задачи, провести анализ возможных причин и последствий отказов, а также оценить критичность этих отказов. Для решения вопросов об обеспечении безопасности энергосистемы, функциональных программ и освоения новых технологий могут быть созданы региональные экспертные центры, способные сотрудничать с хозяйственными подразделениями и заниматься задачами технологической безопасности. При этом учитывается надежность энергоснабжения потребителей, проводится техническое обслуживание, обеспечивается материально-техническое обеспечение и задаются параметры контроля состояния.

Организация управления технологической безопасностью ВЛ структурирована следующим образом:

1. Основанную на процессном подходе систему технического обслуживания и надзора, которая подлежит управлению и постоянному введению современных методов диагностики. Эта система включает в себя набор принципов, методов и средств, используемых для обеспечения надлежащего состояния и контроля конструкций.

2. Систематизированное управление **финансовыми и материальными** ресурсами при проведении ремонтных работ и реконструкции. Эта система позволяет быстро и эффективно восстановить функциональность линий электропередачи после отказов или аварий.

В первую очередь, для управления технологической безопасностью следует принять следующие меры:

- разработать стандарт предприятия, который устанавливает требования к профессиональной квалификации специалистов и функционированию системы технического надзора над производственно-техническими и хозяйственно-бытовыми объектами;

- утвердить положения о объектной службе технической эксплуатации конструкций, которые определяют организацию и функции этой службы;

- ввести положения о службе технического надзора, которые определяют ее задачи и обязанности при осуществлении контроля за техническим состоянием объектов;

- установить положения о безопасном проведении ремонтных, монтажных, строительных и других видов работ на оборудовании и конструкциях линий электропередачи в условиях эксплуатации.

Эти меры помогут создать систему управления технологической безопасностью, обеспечивая четкие стандарты и регламенты для специалистов, а также надлежащее выполнение работ на объектах электропередачи с соблюдением требований безопасности.

Системное научное сопровождение разработки порядка обслуживания и надзора включает несколько ключевых этапов:

- системный анализ возможных причин и последствий отказов, который позволяет идентифицировать потенциальные источники проблем и оценить их влияние на работоспособность системы;

- определение расчетных ситуаций, в рамках которых проводится оценка предельных состояний с учетом технологических и эксплуатационных рисков. Это помогает определить критические условия, при которых система может подвергаться повышенным нагрузкам или риску отказа;

- уточнение состава параметров при экспертном диагностировании, что позволяет определить наиболее важные параметры, влияющие на надежность

системы, и разработать соответствующие методики и инструменты для их контроля и измерения.

- разработка математических моделей показателей надежности на основе методов функционально-стоимостного анализа. Это позволяет оценить вероятность отказов, ожидаемое время безотказной работы и другие ключевые показатели надежности системы.

Все эти этапы в совокупности обеспечивают научное обоснование и аналитическую базу для разработки эффективных процедур обслуживания и надзора, способствуют повышению надежности и безопасности системы, а также улучшению ее функционирования и долговечности.

В ряд основных задач по обеспечению технологической и эксплуатационной безопасности ВЛ, входит разработка системы мониторинга конструкций на основе действительного состояния. Экспертные системы, разрабатываемые для решения данного рода задач, представляют собой программы, способные автоматизировать сбор и хранение информации о состоянии конструкций, расчетные оценки надежности при воздействии различных факторов (как климатических, так и техногенных), а также анализ технических и организационных мер по инженерной защите и управлению для предотвращения аварийных ситуаций.

Система мониторинга включает в себя несколько блоков, таких как информационное обеспечение, диагностическое обеспечение и принятие управленческих решений. Принятие управленческих решений должно осуществляться на основе анализа показателей мониторинга, включающего в себя диагностическое и информационное обеспечение, и позволять определить необходимые меры по поддержанию работоспособности и реконструкции линии в соответствии с фактическим состоянием.

Представлена методология создания единой геоинформационной системы, содержащая управление базами данных (рисунок 5.1).

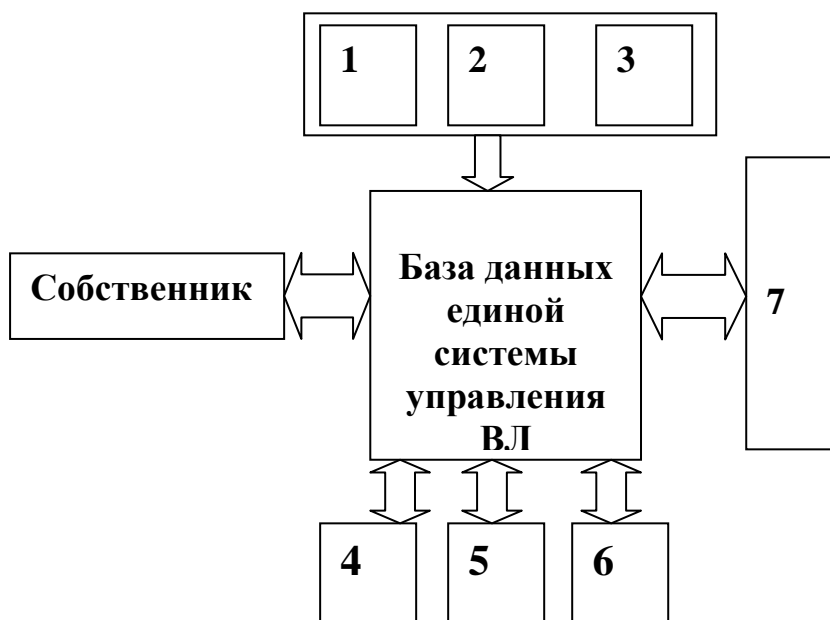


Рисунок 5.1 - Структура системы управления эксплуатационной надежностью ВЛ

Система управления базой данных включает следующие блоки:

1. Блок данных о воздушной линии: включает информацию о плане и профиле трассы, стрелах провеса проводов и тросов, а также о конструкциях, применяемых на воздушной линии, таких как опоры, провода, тросы, изоляторы, система защиты от вибрации, заземление и другие.

2. Блок учета несовершенств: содержит данные о выявленных дефектах и повреждениях в каждой конструкции, информацию о сроках устранения этих дефектов, а также фактические характеристики материалов, используемых в конструкциях.

3. Блок технической информации: включает чертежи, сертификаты и другую техническую документацию, связанную с воздушной линией. В настоящее время еще большая часть информации представлена в бумажном формате, что может замедлить работу системы.

4. Система сбора и учета информации об авариях и отключениях: этот блок предназначен для сбора и учета информации о происшествиях, связанных с воздушной линией, таких как аварии и временные отключения.

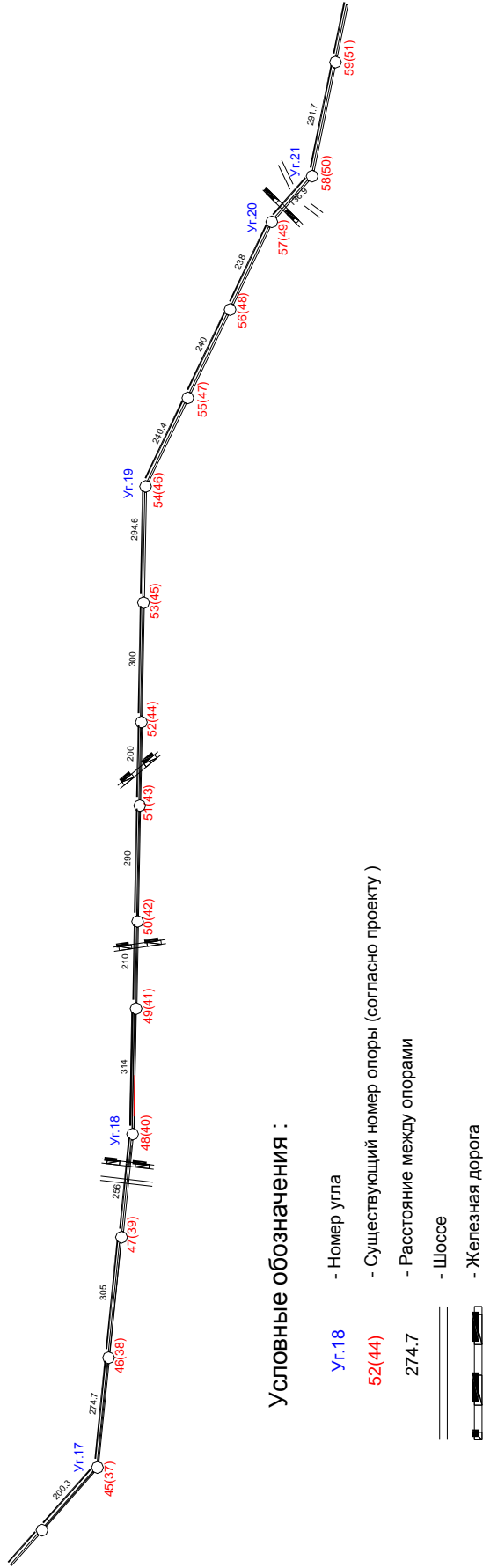
5. Система сбора и обработки метеоданных: включает данные, полученные от метеостанций гидрометцентра и специализированных метеопостов. Эти данные важны для оценки воздействия погодных условий на воздушную линию, таких как ветер, температура, осадки и другие параметры.

6. Система учета инженерно-геологических условий строительства: содержит информацию о геологическом составе, грунтах, гидрологических условиях и других факторах, которые могут оказывать влияние на конструкции воздушной линии. Эта информация необходима для принятия решений о выборе и проектировании конструкций.

7. Система анализа данных: предназначена для обработки и анализа всех собранных данных, включая информацию о воздушной линии, несовершенствах, технической информации, метеоданных и инженерно-геологических условиях. Анализ этих данных позволяет выявлять тенденции, паттерны и проблемы, а также принимать обоснованные решения по обеспечению технологической и эксплуатационной безопасности воздушной линии.

Данная система обладает рядом значительных преимуществ, среди которых следует отметить оперативность сбора и обработки информации, которая распределена на больших территориях. Это особенно важно в случаях, когда возникают аварийные ситуации. Информация, полученная с метеопостов, играет ключевую роль в оперативном реагировании и принятии мер по переводу воздушных линий в режим плавки гололеда.

В данном контексте также нужно рассматривать составление электронных паспортов для воздушных линии, что способствует более оперативному обмену информацией о техническом состоянии. Для особо ответственных участков линий, например, переходов через большие водные пространства, имеет смысл дополнить блок-схему, представленную на рисунке 5.1, формой динамического паспорта на основе динамической интегральной диагностики строительных конструкций перехода



Условные обозначения :

- Уг.18 - Номер угла
- 52(44) - Существующий номер опоры (согласно проекту)
- 274.7 - Расстояние между опорами
- ==== - Шоссе
- ==== - Железная дорога

Рисунок 5.2 – План трассы

Динамический паспорт представляет собой расширенную форму паспорта, в которой содержится более подробная информация о техническом состоянии конструкций перехода. Он основан на использовании методов динамической интегральной диагностики, которые позволяют более точно оценить состояние и надежность конструкций. Динамический паспорт обеспечивает более надежную и оперативную передачу информации о состоянии перехода, что помогает принимать обоснованные решения и предпринимать соответствующие меры по обеспечению безопасности и надежности воздушной линии.

5.1.2. Блок учета данных о техническом состоянии воздушной линии электропередачи

Получению информации о техническом состоянии должно предшествовать ее обследование. Причем обследованию должны подвергаться не только строительные конструкции, но и провода, тросы, изоляторы, арматура, т.е. все элементы ВЛ прочность которых влияет на надежность линии в целом.

Оценка технического состояния ВЛ основывается на проектных критериях, применяющих полувероятностный подход. Главными предпосылками этого подхода являются:

- надежность ВЛ в первую очередь зависит от вариации климатических нагрузок.
- надежность опор ВЛ является функцией надежности других компонентов ВЛ.
- оценка технического состояния линии возможна только при соблюдении принципов координации прочности компонентов ВЛ.
- дефекты изготовления, монтажа и повреждения, вызванные "человеческим фактором" (например, разбор конструкций третьими лицами или наезды транспорта), должны быть выявлены при проведении плановых осмотров.

- предложенный подход не гарантирует, что предельные нагрузки не будут превышены, однако снижает риск превышения до приемлемо низкого уровня.

Таким образом, воздушная линия электропередачи рассматривается как взаимосвязанная система, где оценка технического состояния и обследование всех компонентов ВЛ играют важную роль в обеспечении ее надежной работы.

5.1.3. Блок учета несовершенств

Унификация элементов конструкции опор воздушной линии электропередачи приводит к значительному запасу прочности некоторых элементов. Однако различные элементы вносят разный вклад в общее напряженно-деформированное состояние, поэтому требуется их разделение на группы. Количество элементов, попадающих в каждую группу, может отличаться в зависимости от особенностей конструкции и неравномерного использования потенциальных возможностей элементов.

В группу с наименьшей долговечностью входят элементы, находящиеся в нижней части конструкции, а также элементы поясов ствола и траверс опоры. Эти элементы подвергаются более высоким нагрузкам, и их прочностные свойства используются максимально. Гистограмма показывает, что большинство элементов конструкции опор имеют срок службы 50 лет и более. Это означает, что эти элементы выполнены с запасом прочности, обеспечивающим их безотказную работу в течение 50 лет и даже больше.

Анализ групп элементов в конструкции опор позволяет выявить элементы, которые ограничивают долговечность конструкции, а также имеют этот фактор в избытке. Вычисление долговечности для каждого элемента опоры предоставляет новую информацию о эксплуатационных характеристиках конструкции при проектировании и реконструкции. Это позволяет более дифференцированно определить вклад каждого элемента в

общее напряженно-деформированное состояние конструкции опоры и всей линии воздушной линии электропередачи.

Предложенный метод также может быть использован при реконструкции электросетевых объектов. Он позволяет научно обоснованно определить объемы работ по ремонту и восстановлению, а в некоторых случаях отказаться от трудоемкого восстановления конструкций. Это помогает оптимизировать процесс реконструкции и использовать ресурсы более эффективно.

Таким образом, анализ групп элементов и вычисление долговечности являются важными инструментами при проектировании, эксплуатации и реконструкции воздушных линий электропередачи, позволяющими принимать обоснованные решения и повышать надежность и эффективность работы электросетей.

На сегодняшний день существует потребность в обновлении электрических сетей и создании поколения воздушных линий электропередачи, которые соответствуют экономико-экологическим требованиям и современному техническому уровню по долговечности и надежности. Это связано с растущими энергетическими потребностями, изменяющимися нормативами и стандартами, а также стремлением к снижению негативного воздействия на окружающую среду. Решение этих задач обеспечения обеспечит эффективную работу электросетей и их соответствия современным требованиям по долговечности и надежности.

5.2. Организация технического надзора за состоянием сооружений и паспортизация электросетевых объектов

Паспортизация позволяет создать единую систему учета и мониторингового контроля, которая обеспечивает своевременное выявление предаварийных и аварийных ситуаций, а также позволяет принять меры по прекращению эксплуатации аварийно опасных объектов.

Паспортизация сооружений электрических сетей включает в себя сбор и систематизацию информации о каждом объекте, включая его характеристики, техническое состояние, историю эксплуатации и т.д. Эта информация записывается в паспорт объекта, который становится основным документом для контроля и учета объектов.

Единая система учета и мониторинга позволяет следить за состоянием объектов электрических сетей на протяжении всего их срока службы. Путем регулярного мониторинга и проверки состояния объектов можно выявлять потенциально опасные ситуации, дефекты и повреждения, а также принимать меры по их устранению.

В случае выявления аварийно опасных объектов, паспортизация позволяет принять решение о прекращении их эксплуатации или проведении необходимых ремонтных работ. Таким образом, паспортизация способствует обеспечению безопасности и надежности электрических сетей путем своевременного выявления и устранения проблемных объектов.

Однако следует отметить, что паспортизация является непрерывным процессом, так как состояние объектов может меняться со временем. Поэтому регулярное обновление и контроль паспортных данных необходимы для эффективной эксплуатации и безопасности электрических сетей.

Паспортизация сооружений выполняется *только после* выполнения и анализа материалов *обследования* и на основании полученных при этом данных.

Оценка технического состояния электросетевых конструкции выполняется поэтапно: оценивается состояние отдельных конструктивных элементов и узлов, затем состояние конструкции в целом, а в завершение состояние ВЛ или подстанции.

Оценка технического состояния электросетевых конструкций выполняется поэтапно. Сначала производится оценка состояния отдельных конструктивных элементов и узлов, затем оценка состояния конструкции в

целом, и, наконец, оценка состояния всей электросетевой линии или подстанции.

Оценка технического состояния отдельных конструктивных элементов и узлов проводится путем осмотра и проверки их внешнего вида, состояния поверхности, дефектов и повреждений. Для некоторых элементов может потребоваться проведение дополнительных испытаний или измерений для определения их физических свойств и характеристик. Затем производится оценка состояния конструкции в целом, которая основывается на результатах оценки состояния отдельных элементов и узлов. Здесь учитывается взаимодействие и влияние различных элементов друг на друга, а также общая степень износа и старения конструкции. Итоговая оценка технического состояния электросетевых конструкций представляется в виде технического заключения, которое содержит информацию о возможности дальнейшей эксплуатации конструкций. Такое заключение составляется специализированной организацией на основе результатов натурного освидетельствования, обследования и проверочных расчетов конструкций.

В материалах технического заключения указывается техническое состояние отдельных конструкций по несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации. *Заключение о техническом состоянии конструкции в целом дается на основе оценки состояния отдельных элементов и узлов. [СТО]*

Определение ремонтпригодности электросетевых конструкций осуществляется на основе технических возможностей и экономической целесообразности проведения ремонтных работ. В общем случае, конструкции считаются неремонтпригодными, если выполняются следующие условия:

- невозможно применить простые технические решения при выполнении ремонтно-восстановительных работ. Это может означать, что требуется сложное и дорогостоящее вмешательство для восстановления конструкции.

- количество неработоспособных элементов (узлов), выявленных при обследовании, превышает 10% от общего их числа. Если значительная часть элементов или узлов имеет повреждения или дефекты, это может свидетельствовать о неремонтопригодности конструкции.

- качество материала конструкции не соответствует основным нормативно-техническим требованиям. Если материалы, используемые в конструкции, не обладают необходимыми характеристиками и не соответствуют стандартам и нормам, это может привести к неремонтопригодности.

В целом, состояние сооружений определяется в зависимости от характеристик и условий каждой конструкции. Если конструкция не отвечает требованиям ремонтпригодности, то могут потребоваться более серьезные меры, такие как замена или перестройка, с целью обеспечения безопасной и нормальной эксплуатации электросетевых объектов.

5.3. Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности.

Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности представлена в виде схемы на рисунке 5.3.

Для обеспечения технологичности и эксплуатационной безопасности ВЛ необходимо:

1. При строительстве - обеспечить технический контроль за производством работ и не допускать необоснованного отклонения от проекта, приводящего к снижению надежности и долговечности ВЛ.

2. При эксплуатации:

- повысить уровень диагностики, так как существующая система диагностики состояния ВЛ не достаточно эффективна, что связано как с отсутствием на объектах электрических сетей технических средств в необходимом объеме, так и недостаточностью методической базы по всему спектру возможных систем диагностики;

- проводить обязательное специальное обследование элементов линий электропередачи ВЛ, эксплуатируемых более 30 лет с целью определения объемов реконструкции или ремонта [1, 3];
- считать обязательным восстановление защитных покрытий при коррозионных потерях;
- проводить своевременно ремонт элементов ВЛ.

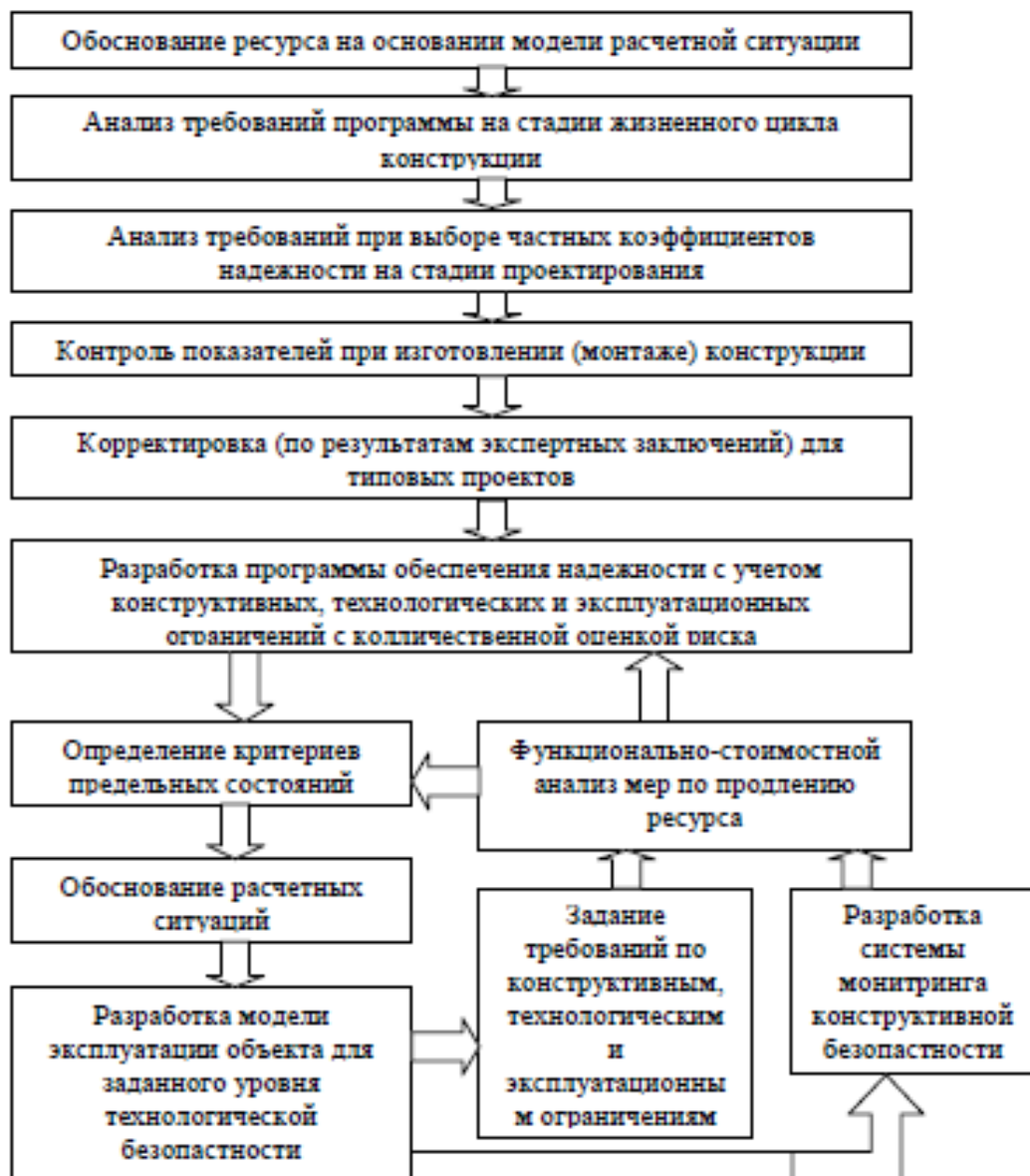


Рисунок 5.3 - Основные этапы экспертизы требований технологической безопасности

Для обеспечения технологичности и эксплуатационной безопасности ВЛ необходимо:

1. При строительстве - обеспечить технический контроль за производством работ и не допускать необоснованного отклонения от проекта, приводящего к снижению надежности и долговечности ВЛ.

2. При эксплуатации:

- повысить уровень диагностики, так как существующая система диагностики состояния ВЛ не достаточно эффективна, что связано как с отсутствием на объектах электрических сетей технических средств в необходимом объеме, так и недостаточностью методической базы по всему спектру возможных систем диагностики;

- проводить обязательное специальное обследование элементов линий электропередачи ВЛ, эксплуатируемых более 30 лет с целью определения объемов реконструкции или ремонта [7,64];

- считать обязательным восстановление защитных покрытий при коррозионных потерях;

- проводить своевременно ремонт элементов ВЛ.

3. При ремонте и реконструкции:

- при техническом перевооружении и реконструкции ВЛ довести их техническое состояние до требований [78] и других нормативных документов [58,76,77,79,102];

- применять современные технологии и материалы;

- учитывать изменения условий эксплуатации;

- использовать специальные механизмы и средства малой механизации, позволяющие повысить производительность труда и уровень техники безопасности.

Технический отчет, отражающий результаты проведенного обследования, должен содержать:

- анализ нормативной и технической документации по ВЛ (проектной, исполнительной, эксплуатационной);

- материалы обследования элементов ВЛ;
- оценку условий эксплуатации;
- уточненные данные о нагрузках на элементы ВЛ;
- оценку технического состояния элементов ВЛ;
- рекомендации по поддержанию надежности элементов ВЛ;
- рекомендации по дальнейшей эксплуатации и срокам выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Вся информация о состоянии элементов ВЛ, собранная в процессе обследования и геодезической съемки трассы, классифицируется и заносится в электронные базы служб эксплуатации.

Рассматривая особенности отказов ВЛ и их последствия, следует отметить, что в ряде случаев при обеспечении мероприятий по поддержанию надежности электрических систем и предоставлению гарантий обеспечения безаварийной работы (усовершенствование конструктивных форм подвеса проводов и тросов, схемы расположения траверс, а также предусмотрение элементов, обеспечивающих сброс провода, без изменения целостности опоры) страховые организации будут заинтересованы в заключении договоров на возмещение ущерба в следствии возникновения страхового случая. Это связано с тем, что при неизменном тарифе за страховую услугу (отключение электроснабжения), выплаты на возмещение убытка при аварии будут покрывать только замену и (или) восстановление проводов, без выплат на восстановление опор. Т.е. при одинаковых рисках – возмещение будет меньше.

При этом для заинтересованности имущественно обособленных владельцев линий страховые компании смогут разработать новые тарифы, что подтолкнет их к внедрению новых способов инженерной защиты

Разработанный в разделе 4 метод расчетной оценки остаточного ресурса позволяет обозначить оптимальную схему управления качеством эксплуатируемых несущих конструкций с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности. Управление осуществляется через

механизм страхования и основывается на информации о текущих значениях конструктивных рисков, формируемой в процессе экспертной оценки технического состояния объекта (рисунок 5.4).

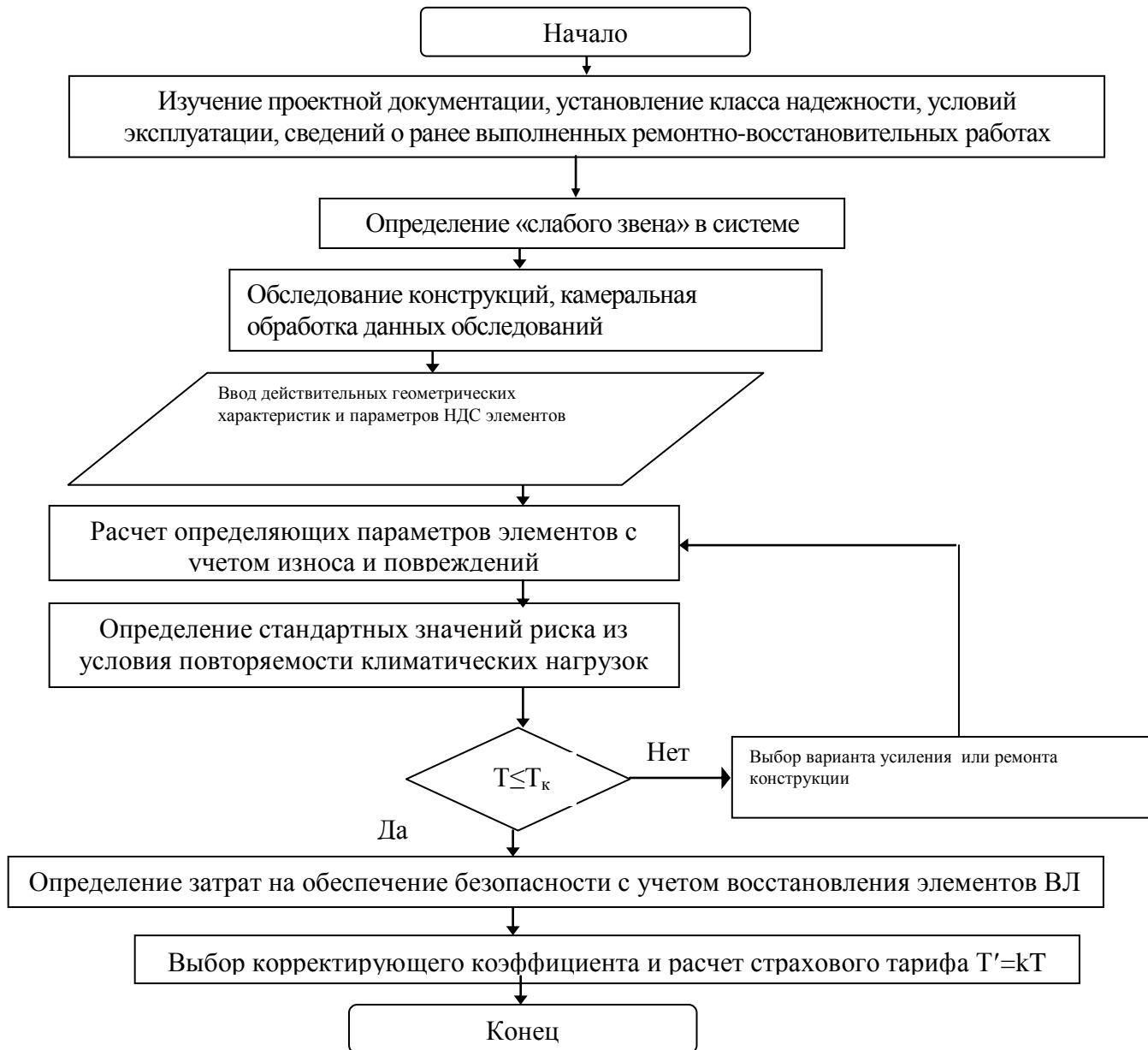


Рисунок 5.4 - Блок-схема вычисления удельных затрат на обеспечение конструктивной безопасности и страховых тарифов.

В предложенной схеме управления конструктивной безопасностью способы ее регулирования определяются регламентом и правилами страхования.

Важно отметить, что страхование предполагает установление взаимоотношений между участниками, которые связаны с распределением

финансового ущерба, вызванного авариями в строительных конструкциях, на одном или нескольких объектах, между всеми объектами, включенными в страховую программу. Это предполагает возможность, что число поврежденных объектов будет меньше числа участников страхования. Для обеспечения такого распределения ущерба создается специальный страховой фонд, который формируется путем регулярных взносов участников страхования. Поскольку средства из этого фонда используются только среди его участников, размер страхового взноса определяется долей каждого участника в распределении ущерба. Таким образом, чем больше количество участников страхования, тем меньше размер страхового взноса, что делает страхование доступным и эффективным.

Одной из характерных особенностей страхования является возвратность платежей, внесенных в страховой фонд. Размер страховых платежей определяется на основе страховых тарифов, которые устанавливаются для компенсации возможного ущерба. Принцип возвратности платежей приближает страхование к категории кредита. Основной задачей при установлении страховых тарифов является определение вероятной суммы ущерба на единицу страховой суммы. Если тарифная ставка достаточно точно отражает вероятный ущерб, то обеспечивается необходимое распределение ущерба между страхователями. Главная цель при расчете тарифных ставок - при минимальных тарифах, доступных широкому кругу страхователей, обеспечить достаточный объем страхового покрытия. Путем использования соответствующих тарифных ставок достигается наименьшее изъятие доходов у страхователей в виде страховых платежей, чтобы предоставить им необходимую поддержку из страхового фонда. Чрезмерное завышение тарифных ставок приводит к излишнему перераспределению средств через страховой фонд, а занижение тарифов может привести к дефициту финансовых ресурсов в страховом фонде и невыполнению обязательств страховщика перед страхователями.

За счет средств, отчисляемых от страховых платежей, осуществляется финансирование соответствующих превентивных (направленных на предупреждение аварий и обрушений) мероприятий. То есть страховые отношения направлены на снижение вероятности наступления страховых случаев и смягчение страхового риска.

В рамках правил страхования предусматривается непрерывная количественная оценка конструктивных рисков и соответствующая корректировка страховых платежей на основе этой оценки. Целью такой корректировки является достижение максимальной точности соответствия между фактической уязвимостью строительных конструкций к риску аварии и вероятностью возникновения финансовой ответственности страховщика. Эта корректировка является основным экономическим регулятором в области конструктивной безопасности эксплуатируемых объектов, поскольку стимулирует владельцев основных фондов принимать меры по устранению критических дефектов и повреждений несущих конструкций или компенсации их негативного влияния на уровень риска аварии.

В системе экономических отношений участников страхования конструктивных рисков регулятором конструктивной безопасности является корректировка страховых тарифов, обеспечивающая реальное соотношение “страховой взнос - качество объекта”.

Для использования предложенного механизма страхования можно конкретизировать направления исследований следующим образом:

- на основе обоснованных расчетно-экспериментальным путем гарантированных интервалов конструктивных рисков исследовать функцию “затраты на безопасность - конструктивный риск” с целью оценки удельных затрат на поддержание безопасности электросетевых конструкций;
- разработать предложения по корректировке страховых тарифов в зависимости от фактического уровня конструктивной безопасности;

- разработать алгоритм функционально-стоимостного анализа при выборе варианта восстановления антикоррозионной защиты и вариантов усиления конструкций.

5.4. Экономическая эффективность обеспечения безопасности эксплуатируемых ВЛ на принципах страховой ответственности

Восстановление первоначальных эксплуатационных показателей и параметров ВЛ и ее элементов обеспечивается разработанной системой капитальных ремонтов. При этом сохранение нормального технического состояния в пределах, предусмотренных проектом и нормативной документацией, достигается соблюдением допустимых значений параметров износа элементов ВЛ. Критерии допустимого износа элементов ВЛ целесообразно устанавливать на основе оценок риска [128].

Максимум эффективности системы обеспечения надежности и безопасности за весь срок службы линии определяется из условия (5.1):

$$F = \min \left| 3_0 \sum_{t=1}^{t_{сд}} \frac{\alpha_t}{(1+E_H)^t} + 3_k \sum_{t=1}^{t_{сд}} \frac{\beta_t}{(1+E_H)^t} + 3_c \sum_{t=1}^{t_{сд}} \frac{1}{(1+E_H)^t} \right|, \quad (5.1)$$

где 3_0 – затраты, связанные с одним отказом; 3_k – затраты на проведение одного капитального ремонта ВЛ; α_t – число отказов в году t ; β_t – число капитальных ремонтов в году t ; 3_c – затраты на страхование; E_H – коэффициент внутренней экономической эффективности капвложений (для предприятий электрических сетей принят $E_H=0,16$).

При этом суммарные затраты на один капитальный ремонт определялись зависимостью (5.2):

$$3_0 = Y_{но} + 3_{ав} + Y_{эо}, \quad (5.2)$$

где $Y_{но}$ – ущерб потребителей от перерывов электроснабжения при отказе ВЛ,

$$Y_{no} = (y_1 + \bar{t}_v y_2) \frac{T_{max} P_{max}}{8760}, \quad (5.3)$$

y_1 – удельный ущерб потребителя, пропорциональный отключенной мощности, грн/кВ; y_2 – удельный ущерб потребителя, пропорциональный недоотпуску электроэнергии, грн/кВ·ч; T_{max} – число часов недоиспользования ВЛ; P_{max} – максимальной нагрузки ВЛ; t_v – среднее время восстановления электроснабжения при отказе ВЛ, часов; 8760 – часов выдачи энергии в году.

Затраты на аварийно-восстановительный ремонт $Z_{ав}$ при отказе ВЛ определяются сметной стоимостью работ, связанных с заменой элементов ВЛ.

Ущерб предприятий энергоснабжения, вызванный недоотпуском электроэнергии при отказе ВЛ определяется:

$$Y_{эо} = \frac{(E_n + a_p)KL + CL}{8760} \bar{t}_v, \quad (5.5)$$

где K – удельные капитальные вложения в строительство ВЛ; a_p – нормативные амортизационные отчисления, уд.ед.; L – длина ВЛ, км; C – годовой фонд заработной платы эксплуатационного персонала ВЛ, грн/км.

При капитальном ремонте ВЛ:

$$Z_k = Y_{nn} + Z_{кр}. \quad (5.5)$$

Ущерб потребителя от перерыва электроснабжения на время капитального ремонта ВЛ составит

$$Y_{nn} = y_{np} \frac{T_{max} P_{max}}{8760M} t_{кр} nL, \quad (5.6)$$

где $t_{кр}$ – продолжительность капитального ремонта ВЛ при работе одной бригады и объеме ремонта $n = 1$; y_{np} – удельный ущерб потребителя от недоотпуска электроэнергии на время капитального ремонта; n – число ремонтных бригад, работающих на ВЛ.

Затраты на капитальный ремонт $Z_{кр}$ определяются в соответствии со сметной документацией.

По данным предприятий электрических сетей региона, приведенным в таблице 5.2, определим экономическую эффективность мероприятий по обеспечению безопасности конструкций на принципах страхования:

$$\mathcal{E} = (Z_o + Z_k) - (Z_p + Z_c) , \quad (5.7)$$

где \mathcal{E} - годовой экономический эффект; (Z_o+Z_k) – затраты на возмещение ущерба от обрушения конструкций, включая затраты на демонтаж и восстановление конструкций; выплаты по невыполненным договорным обязательствам и потери дохода от транспорта электроэнергии за время восстановления линии, определенные в соответствии с (5.1-5.6); Z_p – годовые затраты на поддержание и восстановления требуемого уровня безопасности (эксплуатационные затраты); Z_c – затраты на страхование.

Таблица 5.2 - Удельные показатели стоимости и трудоемкости мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатируемых ВЛ

Показатели в пересчете на тонну конструкции	Линия электропередачи 220кВ		
	Замена всей опоры	Частичная замена опоры (траверсы и средняя секция)	Замена поврежденных элементов
Удельная стоимость аварийного ремонта, руб/тн	250114	150570	229300
Удельная трудоемкость ремонта, чел-ч/тн	24,38	14,14	39,5
Удельные ущербы от перерывов энергоснабжения, руб/кВ-ч	121,88	121,88	121,88
Удельные затраты (эксплуатационные + на профилактические и текущие ремонты), руб/тн	2501	1505,7	2293
Затраты на страхование, руб/тн	В соответствии с тарифом страховой компании		

При устранении аварии в виде замены конструкции опоры годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_1 = (250114 + 96 \cdot 121,88) - (2501 + 3_c) = 259313,5 - 3_c \text{ руб/тн.}$$

При устранении аварии в виде замены траверс и секции опоры годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_1 = (150570 + 45 \cdot 121,88) - (1505,7 + 3_c) = 154450 - 3_c \text{ руб/тн.}$$

При устранении аварии в виде замены отдельных элементов опоры годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_1 = (229300 + 0,25 \cdot 121,88) - (2293 + 3_c) = 229037 - 3_c \text{ руб/тн.}$$

Анализ расчетов позволяет сделать вывод, что экономический эффект не всегда изменяется пропорционально количеству заменяемых элементов конструкций. Однако, если рассматривать экономический эффект в соотношении с массой конструкции, то при замене опоры в целом и нескольких элементов отличия оказываются незначительными.

Расчеты экономической эффективности различных вариантов конструктивных решений выполняется на основании [112].

На основании выполненных сметных расчетов (Приложение В) приведем исходные данные для расчета сравнительной экономической эффективности вариантов замены и ремонта опоры.

Расчет экономического эффекта от оптимизации проектных решений выполняем по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 + Z_{c1})\varphi + \mathcal{E}_s - (Z_2 + Z_{c2})$$

где Z_1, Z_2 – приведенные затраты на заводское изготовление конструкций и материалов по вариантам; Z_{c1}, Z_{c2} – приведенные затраты на производство работ на стройплощадке по вариантам; φ – коэффициент учета изменения срока службы конструкций и материалов по сравнению с базовым вариантом; \mathcal{E}_s – экономия в сфере эксплуатации зданий за год их службы.

Сроки службы конструкций по вариантам принимаем для варианта 1 – 10 лет, для варианта 2 – 4 года ($\varphi=0,011$).

Таблица 5.3 – Показатели для расчета экономической эффективности

Показатели	Ед. изм.	Варианты	
		Полная замена опоры	Замена поврежденных элементов
1.Трудоемкость работ	чел-час	624,24	4,94
2.Себестоимость работ, в том числе:	тыс.руб.	5063,548	22,935
- прямые затраты,	тыс.руб.	4758.821	20,518
- материалы;		4371.434	17,409
- основная зарплата рабочих;		142.476	1,146
- эксплуатация машин и механизмов	тыс.руб.	200.437	1,625
- зарплата машинистов	тыс.руб.	44,473	0,336

Эксплуатационные расходы (затраты на осмотры конструкций, текущие ремонты) за год также примерно одинаковы. Принимаем $\Delta_3 = 0$.

Экономический эффект определяем как разницу приведенных затрат по вариантам. Приведенные затраты определяем по формуле:

$$Z_i = C_i \varphi + E_n K_i,$$

где E_n – среднеотраслевой коэффициент эффективности капитальных вложений (принят 0,15).

В расчете на одну опору:

$$\Delta_{2-1} = 5063,548 - 22,935/0,011 = 2978,548 \text{ тыс. руб.}$$

На основании выполненных сметных расчетов можно утверждать, что экономический эффект от замены конструкций будет весьма значительным и составит 2978 тысяч рублей. Это подтверждает выгодность внедрения мероприятий по замене и обновлению элементов конструкций в электрических системах.

Кроме того, при замене отдельных элементов значительно повышается надежность конструкций (приведен пример в 4 главе диссертации), что

существенно снижает риск возникновения отказов в линии. В результате, страховые коэффициенты требуется пересмотреть и возможно предложить страхование на более длительный срок с тем же страховым тарифом. Такой подход позволит распределить сумму страхового взноса на более продолжительный период, обеспечивая стабильное финансирование и покрытие рисков в течение более длительного времени.

Таким образом, результаты анализа подтверждают, что замена и модернизация элементов конструкций электрических систем приводят к положительным экономическим и техническим эффектам, улучшают надежность и снижают риски аварийного отказа линии. Это обосновывает необходимость инвестиций в поддержание и обновление электрических систем, особенно в контексте долгосрочной устойчивости и безопасности их функционирования. Внедрение системы страхования конструкций в электрических системах дополняет эти усилия, представляя собой средство не только для сокращения финансовых затрат на ремонт и восстановление, но и для стимулирования владельцев системы к улучшению мониторинга, обследования и планового ремонта линий электропередач. Эта система эффективно управляет рисками, связанными с отказами и авариями, и вносит значительный вклад в обеспечение надежности и безопасности электрической системы. Таким образом, замена и модернизация конструкций, совместно с внедрением системы страхования, способствуют созданию устойчивой и безопасной электрической инфраструктуры.

5. Выводы по разделу 5

1. Применение предложенной методики по оптимальному планированию реконструкции ВЛ позволит существенно повысить качество эксплуатации воздушных линий, своевременно выявить и устранить значительное количество несовершенств, спрогнозировать места возникновения аварий в случае увеличения климатических нагрузок, и, таким образом, существенно повысить эксплуатационную надежность ВЛ.

2. Предложенные методы определения остаточного ресурса на строительные конструкции опор ВЛ, позволяют не только получать данные о реальном техническом состоянии ВЛ, но и использовать в дальнейшем инструмент привлечения материальных средств для реконструкции и переоснащения ВЛ как страхование.

3. Разработано алгоритмическое описание задачи вычисления удельных затрат на обеспечение конструктивной безопасности и страховых тарифов

4. Обоснована экономическая эффективность использования механизма страхования электросетевых конструкций для предупреждения и возмещения ущерба от обрушений конструкций. Годовой экономический эффект для предприятий электрических сетей с учетом всех видов ущербов составляет 2,98 млн. рублей при замене элементов в отличие от полного восстановления опоры У220-2р+9, стоимость которой составляет 2,545 млн. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.

1. В результате анализа обследований более 1500км трасс прохождения электросетей выявлены дефекты и повреждения опор ВЛ вносящие наибольший вклад в НДС конструкции: коррозионный износ в процентном соотношении до 90% всех неоцинкованных опор, общие погнутости до 1/125 длины элемента, щелевая коррозия от 0,5 до 18мм на 50% опор, отрыв и отсутствие элементов на 15% опор.

2. Разработана методика определения остаточного ресурса объекта из условий повторяемости климатических нагрузок, которая позволяет определить вероятность непревышения нагрузок в заданный период эксплуатации, причем данная величина характеризует также величину безотказности опоры в целом. Так для для пояса верхней секции опоры У220 она составляет 0,1674 , а для второго расчетного (менее «слабого») элемента пояса траверсы вероятность непревышения нагрузок за тот же срок службы составляет 0,999974. Таким образом, величину вероятности непревышения расчетных значений нагрузок можно увеличить с 0,1674 до 0,844699 при увеличении сечения одного элемента всего на 4 см². Увеличение сечения элемента У3 в два раза приводит к увеличению надежности до 0,9927.

3. Анализ экспериментальных исследований поведения решетки выявил специфику действительной ее работы под нагрузкой при возникновении общих искривлений решетки в пределах одной панели на сжатые и растянутые элементы. Было определено, что в случае выгиба элементов решетки на сжатый раскос поворот пояса в узле вдоль продольной оси способствует повышению момента в расчетном сечении сжатых раскосов соседних панелей. Данный вывод сделан на основании напряженно-деформированного состояния в момент потери устойчивости сжатого раскоса при стрелке выгиба элементов решетки на сжатый раскос 1/70 *l*. (Потеря устойчивости произошла при 100% загрузки от предельной нагрузки)

4. На основании экспериментальных исследований определено, что аэродинамический коэффициент C_x равный 1,31, не превышает

нормативного значения (1,4). При этом подтверждены наиболее нагруженные углы атаки ветрового потока в 45° и 90° .

5. Созданы теоретические основы и практические рекомендации по предоставлению экспертной информации для дальнейшего создания денежного фонда целевого назначения (страхования объекта).

6. Разработаны и внедрены технические решения по реконструкции, усилению и ремонту опор ВЛ, в частности запатентованы варианты усиления баз и фундаментов металлических решетчатых опор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г. Г. Азгальдов. – Москва : Стройиздат, 1989. – 272 с. – Текст : непосредственный.
2. Алгоритм выполнения ремонтных работ по восстановлению стоек пор ЛЭП / И. О. Егорочкина, Е. А. Шляхова, А. В. Черпаков [и др.]. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4. – 9 с. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3882 (дата обращения: 11.01.2020).
3. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 81–97.
4. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кошиати ; [перевод с английского Сухов Ю. Д.]. – Москва : Стройиздат, 1988. – 584 с. – Текст : непосредственный.
5. Аэродинамика / [А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко и др.]. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 687 с. – Текст : непосредственный.
6. Аэродинамика электросетевых конструкций / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим]. – Донецк : Компьютер Норд, 2000. – 336 с. – Текст : непосредственный.
7. Бакаев, С. Н. Повышение надежности эксплуатации воздушных линий электропередач (комплекс работ и предложений по действующим ВЛ) / С. Н. Бакаев, Н. С. Смирнова, В. В. Моргай. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2015. – Том 21, № 3. – С. 147–165.
8. Белостоцкий, А. М. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства / А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, И. Н. Афанасьева. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 720 с. – Текст : непосредственный.

9. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1982. – 372 с. – Текст : непосредственный.
10. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1971. – 248 с. – Текст : непосредственный.
11. Бронштейн, Э. И. Аварийность воздушных линий электропередачи напряжением 35–220 кВ / Э. И. Бронштейн, И. С. Колосов. – Текст : непосредственный / Труды Фрунзенского политехнического института. – 1969. – Выпуск 39. «Энергетика». – С. 83–91.
12. Бухарин, Е. М. О вероятностных методах расчета строительных конструкций / Е. М. Бухарин // Проектирование и эксплуатация энергетических систем и электрических сетей : труды Института «Энергосетьпроект». – 1979. – Выпуск 18. – С. 21–42.
13. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Наука, 1969. – 366 с. – Текст : непосредственный.
14. Ветровая нагрузка на высотное здание / Е. В. Горохов, С. Г. Кузнецов, В. Н. Васылев [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2011. – Том 17, № 4. – С. 225–235.
15. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи : монография / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим] ; под редакцией Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с. – Текст : непосредственный.
16. Восстановление работоспособности приопорной зоны башенных конструкций / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, Н. С. Смирнова [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2009. – Том 15, № 2. – С. 105–114.
17. Вопросы применения современных компьютерных технологий для решения практических задач строительной аэродинамики / В. Г. Гагарин, С. В. Гувернюк, А. С. Кубенин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник

отделения строительных наук Российской Академии архитектуры и строительных наук. – 2014. – № 18. – С. 151–156.

18. Гагарин, В. Г. О достоверности компьютерных прогнозов при определении ветровых воздействий на здания и комплексы // В. Г. Гагарин, С. В. Гувернюк. – Текст : непосредственный // Жилищное Строительство. – 2014. – № 7. – С. 130–138.

19. Гагарин, В. Г. Аэродинамические характеристики зданий для расчета ветрового воздействия / В. Г. Гагарин, С. В. Гувернюк, П. В. Леденев. – Текст : непосредственный // Жилищное Строительство. – 2010. – № 1. – С. 7–10.

20. Гаранжа, И. М. Эффективность применения многогранных гнутых стоек (МГС) для опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях современной Украины / И. М. Гаранжа, В. Н. Васылев. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2008. – Том 14, № 3. – С. 163–168.

21. Гаранжа, И. М. Анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой двухцепной опоры воздушной линии электропередачи 110 кВ / И. М. Гаранжа, А. В. Танасогло // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Том 20, № 4. – С. 74–85.

22. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – Москва : «Наука», 1965. – 524 с. – Текст : непосредственный.

23. Голиков, А. В. Анализ влияния типа решетки на распределение усилий в элементах башни / А. В. Голиков, Е. В. Михальчонок, Ю. А. Мельникова. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 4. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5891 (дата обращения: 11.01.2022).

24. Гололедные и ветровые воздействия на воздушные линии электропередачи / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим ; под редакцией Е. В. Горохова. – Донецк : Норд-Компьютер, 2005. – 348 с. – Текст : непосредственный.

25. Горлин, С. М. Экспериментальная аэродинамика / С. М. Горлин. – Москва : Высшая школа, 1970. – 423 с. – Текст : непосредственный.
26. Горохов, Е. В. Влияние повреждаемости элементов воздушных линий электропередач на общую надежность конструкции / Е. В. Горохов, Н. С. Смирнова. – Текст : непосредственный // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях : IX Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи : сборник научных докладов I Международной научно-практической конференции / Московский государственный строительный университет – Москва : МГСУ, 2009. – С. 54–55.
27. Горохов, Е. В. Воздействие ветра на высотные здания и их комплексы / Е. В. Горохов, С. Г. Кузнецов, В. Н. Васылев. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Московского государственного строительного университета. – 2008. – Москва. – С. 86–90.
28. Горохов, Е. В. Восстановление работоспособности опор ВЛ с демонтированными элементами / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, С. В. Турбин. – Текст : непосредственный. – 2000. – Днепропетровск : ОАО «ЗМК им. Бабушкина». – С. 199–202.
29. Горохов, Е. В. Оценка надежности стальных электросетевых конструкций / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, М. Е. Самойленко. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 11. – С. 16–22.
30. Горохов, Е. В. Оценка надежности стальных электросетевых конструкций / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, М. Е. Самойленко. – Текст : непосредственный // Металлостроительство-96 (Состояние и перспективы развития) : труды Международной конференции ; в 2 томах, том 1. – Донецк – Макеевка, 1996. – С. 31–36.
31. Горохов, Е. В. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций : монография / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, Е. И. Удод ; под редакцией Е. В. Горохова. – Київ : Техніка, 1997. – 284 с. –

ISBN 966-575-001-1. – Текст : непосредственный.

32. Горохов, Е. В. Совершенствование решетчатых конструкций опор воздушных линий электропередачи / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, А. В. Танасогло. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2020. – Том 26, № 3. – С. 143–154. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2020-3/04_gorokhov_nazim_tanasoglo.pdf (дата публикации: 12.10.2020).

33. Горохов, Е. В. Экспериментальные исследования анкерной опоры У220+9 с несовершенствами при действии статических нагрузок / Е. В. Горохов, Н. С. Смирнова, А. Н. Миронов. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2022. – Том 28, № 2. – С. 95–106. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2022-2/04_gorokhov_smirnova_mironov.pdf (дата публикации: 13.06.2022).

34. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.11.78 № 2986 : взамен ГОСТ 18322-73 : дата введения 1980-01-01 / разработан и внесен Государственным комитетом СССР по стандартам – Москва : Госкомстандарт СССР, 1980. – 12 с. – Текст : непосредственный.

35. ГОСТ 9.402-2004 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 8 декабря 2004 г. № 26 : взамен ГОСТ 9.402-80 : дата введения 2006-01-01 / разработчик ОАО НИИ ЛКП с ОМЗ «Виктория». – Москва : Стандартинформ, 2006. – 44 с. – Текст : непосредственный.

36. ГОСТ Р 54257-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования = Reliability of constructions and foundations. Basic principles and requirements : издание официальное : утвержден и введен в

действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 декабря 2010 г. № 1059-ст : введен впервые : дата введения 2011-09-01 / разработан ОАО «НИЦ "Строительство"», ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева [и др.]. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 18 с. – Текст : непосредственный.

37. Давыдов, В. И. Аварии и их основные причины / В. И. Давыдов. – Текст : непосредственный // Промышленное строительство. – 1988. – № 5. – С. 15–16.

38. ДБН 369-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації : видання офіційне : затверджені Наказом Держбуду України від 15 березня 1992 р. № 32 і введені в дію 1 липня 1992 р. : вводяться вперше : чинний від 1992-07-01 / розробник Держбуд України. – Київ : Укрархбудінформ, 1995. – 46 с. – Текст : непосредственный.

39. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування : видання офіційне : прийнято наказом Мінбуду України від 3 липня 2006 р. № 220 : на заміну СНиП 2.01.07-85 : чинний від 2007-01-01 / розробник ВАТ УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 61 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів). – Текст : непосредственный.

40. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Конструкції будинків і споруд. Основні положення : видання офіційне : затверджено Наказом Мінрегіонбуду України від 24.12.2009 р. № 680 : на заміну СНиП 2.03.01-84* ; чинний від 2011-06-01 / розробник Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – Текст : непосредственный.

41. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : видання офіційне : на заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*-19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3-8, СНиП 3.03.01-87 у частині,

що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134 : чинний від 2011-12-01 / розробник УкрНДІпроектстальконструкція. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 201 с. – (Конструкції будівель і споруд). – Текст : непосредственный.

42. Добромыслов, А. Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений / А. Н. Добромыслов. – Текст : непосредственный // Промышленное строительство. – 1990. – № 9. – С. 9–10.

43. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010. Общие действия. Ветровые воздействия : национальный стандарт Украины : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития и строительства от 27.12.2010 г. № 552/пр-ст : введен впервые с разрешения СЕН : дата введения 2011-07-01 / исполнитель ОАО «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В. Н. Шимановского». – Киев : Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2011. – 174 с. – Текст : непосредственный.

44. Дубинский, С. И. Численное моделирование ветровых воздействий на комплекс «Федерация» «Москва-Сити» / С. И. Дубинский. – Текст : непосредственный // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2008. – Volume 4, issue 2. – P. 58–59.

45. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде ; [перевод с английского Н. И. Ринго]. – Москва : Мир, 1976. – 165 с. – Текст : непосредственный.

46. Инструкция по технической эксплуатации промышленных зданий и сооружений предприятий системы Министерства черной металлургии СССР : утверждена приказом Министерства черной металлургии СССР от 9 марта 1967 г. № 159 / Министерство черной металлургии СССР. – Москва : [б. и.], 1967. – 41 с. – Текст : непосредственный.

47. Инструкция по эксплуатации металлических дымовых труб на тепловых электростанциях / Министерство энергетики и электрификации СССР. Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем. – Москва : СЦНТИ, 1970. – 28 с. – Текст : непосредственный.

48. Каверина, Р. С. Повышение надежности воздушных линий 35–750 кВ. Комплекс работ и предложений / Р. С. Каверина, Ф. Коган, Л. Яковлев. – Текст : электронный // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 4(46) 2007. – URL: <http://news.elteh.ru/arh/2007/46/11.php> (дата обращения: 11.01.2020).

49. Китушин, В. Г. Надежность энергетических систем / В. Г. Китушин. – Москва : Высшая школа, 1984. – 256 с. – Текст : непосредственный.

50. Кочкаров, А. А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты / А. А. Кочкаров, Г. Г. Малинецкий. – Москва : ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2005. – 37 с. – Препринт, инст. заявл. матем., Российская академия наук. – Текст : непосредственный.

51. Кричевский, А. П. Рекомендации по эксплуатации промышленных дымовых и вентиляционных труб / А. П. Кричевский, В. И. Корсун. – Макеевка : Донбасская государственная академия строительства и архитектуры. – 1997. – 84 с. – Текст : непосредственный.

52. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – Ленинград : Энергия, 1979. – 312 с. – Текст : непосредственный.

53. Лозинский, Э. А. Рациональные параметры призматических высотных зданий, минимизирующих воздействие ветрового подпора на окружающую застройку : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискателя ученой степени кандидата технических наук / Лозинский Эдуард Александрович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2013. – 213 с. – Текст : непосредственный.

54. Масові пошкодження в електричних мережах України, що сталися наприкінці листопада та початку грудня 2000 р. : Висновки комісії щодо механічної стійкості пошкоджених електричних мереж України. Пропозиції з підвищення рівня їх надійності / Міністерство палива та енергетики. – Київ : Мінпаливенерго України, 2000. – 9 с. – Текст : непосредственный.

55. Международная электротехническая комиссия. Технический комитет II. Рекомендации для воздушных линий. Нагрузки и прочность воздушных линий электропередачи / Перевод с англ. – Москва, 1989. – Текст : непосредственный.

56. Мельчаков, А. П. Категории прогнозирования риска аварии объектов строительства / А. П. Мельчаков. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2001. – Выпуск 1. – ISSN: 2411-4693.

57. Мельчаков, А. П. Оценка надежности возведенных строительных конструкций на основе методов теории размытых множеств / А. П. Мельчаков. – Текст : непосредственный // 7-е Уральские академические чтения : сборник трудов, 2002, Екатеринбург. – Екатеринбург : издательство УралНИИпроект, 2002.

58. МЭК 60652(2002). Опоры воздушных линий электропередачи. Испытания механическими нагрузками = IEC 60652(2002). Loading tests on overhead line structures : взамен IEC 60652(1979) : перевод с английского : дата введения 2002-06-28 / разработчик ТС 1. – 2002. – 16 с. – Текст : непосредственный.

59. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский [и др.] ; под общей редакцией А. В. Перельмутера. – Москва : АСВ, 2007. – 676 с. – Текст : непосредственный.

60. Назим, Я. В. Внедрение новых разработок нормативной документации в сфере климатического обеспечения электросетей в

практические расчеты / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – Випуск 2009-5(79) Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – С. 22–25.

61. Назим, Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 1. – С. 61–74.

62. Напряженно-деформированное состояние анкерноугловой опоры 220 кВ с несовершенствами при действии статических нагрузок / Е. В. Горохов, Н. С. Смирнова, А. Н. Миронов [и др.]. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2022. – Том 28, № 4. – С. 207–215. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2022-4/st_04_gorohov_smirnova_mironov_bakaev.pdf (дата публикации: 15.02.2022).

63. Нарожний, В. Б. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електромереж / В. Б. Нарожний, С. Я. Княжевська, Л. В. Глей. – Київ : Енергопрогрес, 1994. – 212 с. – Текст : непосредственный.

64. Натурное освидетельствование ВЛ 220–330 кВ в сложных микроклиматических условиях, обусловленных рельефом местности / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Труды VII Украинской научно-технической конференции по металлическим конструкциям, 2000, Днепропетровск. – Днепропетровск : ОАО «ЗМК им. Бабушкина», 2000. – С. 195–198.

65. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель та споруд : затвержені спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997 р. за № 32/288. – Київ : Держбуд України, Держнаглядохоронпраці України, 1997. – 145 с. – Текст : непосредственный.

66. Нормативные документы по вопросам обследования,

паспортизації, безпечної і надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре. – Киев : [б. и.], 2003. – 144 с. – Текст : непосредственный.

67. Определение остаточного ресурса металлических опор ВЛ / Е. В. Горохов, Е. В. Шелихова, Я. В. Назим [и др.]. – Текст : непосредственный // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине ; под редакцией Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка : РИО ДонНАСА, 2008. – С. 66–80.

68. Оптимальное проектирование и экспериментальные исследования решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2022. – № 3 (20). – С. 30–36.

69. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа [и др.]. – Текст : непосредственный // MATEC Web of Conferences : 5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», October 16-17, 2016, Moscow, Russia. – 2016. – Volume 86, 04003. – P. 19–28.

70. Павловский, Р. Н. Моделирование приземного пограничного слоя атмосферы в аэродинамических трубах с короткой рабочей частью / Р. Н. Павловский, С. Г. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2009. – Том 5, № 1. – С. 15–22.

71. Патент на корисну модель № 59075 UA, МПК (2011.01), E02D 37/00, E04G 23/00. Спосіб посилення вузла обпирання стійки : заявл. 28.05.2000 : опублік. 10.05.2011 / Є. В. Горохов, Н. С. Смирнова, М. В. Бусько, О. О. Лещенко ; заявник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Бюл. № 9. – 3 с. – Текст : непосредственный.

72. Патент на корисну модель № 62559 UA, МПК (2011.01) E02D 37/00, E04G 23/00. Спосіб посилення вузла обпирання стійки : заявл.

18.05.2009 : опубл. 12.09.2011 / Е. В. Горохов, Н. С. Смирнова М. В. Бусько ; заявник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Бюл. № 17. – 3 с. – Текст : непосредственный.

73. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – Київ : Издательство УкрНИИпроектстальконструкция. – 2000. – 216 с. – Текст : непосредственный.

74. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : ВПП «SCAD», 2001. – 448 с. – Текст : непосредственный.

75. Пичугин, С. Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С. Ф. Пичугин, А. В. Махинько. – Полтава : АСМІ, 2005. – 342 с. – Текст : непосредственный.

76. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением выше 1кВ (к СНиП II-23-81*) / Энергосетьпроект Минэнерго СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 72 с. – Текст : непосредственный.

77. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб : утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 3 декабря 2001 г. № 56. – Москва : Госгортехнадзор РФ, 2001. – 19 с. – Текст : непосредственный.

78. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» : видання офіційне / Міністерство палива та енергетики України. – Київ : ГРІФРЕ, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України). – Текст : непосредственный.

79. Правила устройства электроустановок / Министерство энергетики Российской Федерации ; [9-е издание]. – Москва : Энергоатомиздат, 2019. – 115 с. – Текст : непосредственный.

80. Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.]. – Текст : непосредственный // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине ; под редакцией Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка : РИО ДонНАСА, 2008. – С. 54–65.

81. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.]. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. - 2010 – Том 6, № 2. – С. 113–130.

82. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. – Москва : Стройиздат, 1995. – 352 с. – Текст : непосредственный.

83. Расчет башенной опоры воздушной линии электропередачи как пространственной шарнирно-стержневой системы / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, Ю. В. Сапронов [и др.]. – Текст : непосредственный // Будівництво України. – 2000. – № 1-2000. – С. 41–44.

84. РД 153-34.3-20.524-00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации воздушных линий электропередачи 110 кВ и выше : издание официальное : оперативное указание Департамента генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей РАО «ЕЭС РОССИИ» от 05.12.2000 г. № ОУ-03-2000(тп) : дата введения 2000-12-01. – Москва : [б. и.], 2000. – 39 с. – (Руководящий документ). – Текст : непосредственный.

85. Ржаницин, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницин. – Москва : Стройиздат, 1978. – 239 с. – Текст : непосредственный.

86. Ржевский, С. С. Уроки системной аварии из-за пляски проводов на ВЛ 400–500 кВ / С. С. Ржевский. – Текст : непосредственный // Электро.

Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2006. – № 6. – С. 9–15.

87. Розанов, М. Н. Надежность электроэнергетических систем / М. Н. Розанов. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 200 с. – Текст : непосредственный.

88. Ройтман, А. Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий / А. Г. Ройтман. – Москва : Стройиздат, 1985. – 175 с. – (Серия Надежность и качество). – Текст : непосредственный.

89. Руденко, Ю. Н. Надежность систем энергетики / Ю. Н. Руденко, И. А. Ушаков. – Москва : Наука, 1986. – 251 с. – Текст : непосредственный.

90. Руденко, Ю. Н. Надежность и резервирование в электроэнергетических системах (методы исследования) / Ю. Н. Руденко, М. В. Чельцов. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1974. – 261 с. – Текст : непосредственный.

91. Руководство по расчёту зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Москва : Стройиздат, 1978. – 216 с. – Текст : непосредственный.

92. Савоськин, Н. Е. Надежность электрических систем : учебное пособие / Н. Е. Савоськин ; Министерство образования Российской Федерации, Пензенский государственный университет. – Пенза : Издательство Пензенского государственного университета, 2004. – 230 с. – Текст : непосредственный.

93. Синтез формализованных сценариев и структурная устойчивость сложных систем (синергетика и аттрактивное поведение) / Д. А. Кононов, В. В. Кульба, С. С. Ковалевский [и др.]. – Москва : Институт проблем управления, 1998. – 103 с. – Препринт. – Текст : непосредственный.

94. Смирнова, Н. С. Анализ конструктивных и эксплуатационных особенностей при определении остаточного ресурса воздушных линий электропередачи / Н. С. Смирнова. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2012. – Том 8, № 2. – С. 87–97.

95. Смирнова, Н. С. Методика экспериментальных исследований анкерной опоры У220+9 с несовершенствами при действии статических нагрузок / Н. С. Смирнова, А. Н. Миронов. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2020. – Том 26, № 4. – С. 165–176. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2020-4/02_smirnova_mironov.pdf (дата публикации: 30.11.2020).

96. СН 509-78. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений : утверждена постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 13 декабря 1978 г. № 229 : взамен раздела 5 Инструкции СН 423-71 : дата введения 1979-01-01. – Москва : Госстрой СССР, 1979. – 86 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708998> (дата обращения: 11.01.2020). – Текст : электронный.

97. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия : издание официальное : утверждены постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 29 августа 1985 г. № 135 : взамен главы СНиП II-6-74 : дата введения 1987-01-01 / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с. – Текст : непосредственный.

98. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии : издание официальное : утверждены Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 30 августа 1985 г. № 137 : взамен СНиП II-28-73*, СН 65-76 : дата введения 1986-01-01 / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с. – Текст : непосредственный.

99. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции : издание официальное : утверждены постановлением Государственного строительного комитета СССР от 4 декабря 1987 г. № 280 : взамен СНиП III-15-76; СН 383-67; СНиП 111-16-80; СН 420-71; СНиП 111-18-75; СНиП 111-17-78; СНиП 111-19-76; СН 393-78 : дата введения 1988-07-01 / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 192 с. – Текст :

непосредственный.

100. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции : издание официальное : утверждены постановлением Госстроя СССР от 14 августа 1981 г. № 144 : взамен СНиП II-В.3-72, СНиП II-И.9-62, СН 376-67 : дата введения 1921-01-01 / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с. – Текст : непосредственный.

101. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 750 кВ. Методичні вказівки у двох частинах, частина 2. Конструктивні елементи ліній : видання офіційне : затверджено наказом від 27.08.2007 № 415 : чинні від 2007-11-27 / розробники С. В. Турбін, В. М. Молчанов, Г. П. Крижов [та ін.]. - Київ : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 92 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України). – Текст : непосредственный.

102. СОУ-Н ЕЕ 20.579:2009. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання : видання офіційне : затверджено наказом від 16.01.2009 р. № 12 : чинні від 2009-04-16 / розробник Українська науково-технічна електроенергетична асоціація «Аселенерго». – Київ : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2009. – 94 с. – Текст : непосредственный.

103. СОУ-Н ЕЕ 20.667:2007. Кліматичні навантаження на повітряних ліній електропередачі з урахуванням топографічних особливостей. Методика : видання офіційне: затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 15.11.2007 р. № 546 : чинні від 2007-11-15. – Київ : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 39 с. – Текст : непосредственный.

104. СОУ-НН 21.262:2008. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж : видання офіційне. – Київ : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. – 36 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України). – Текст : непосредственный.

105. СП 13-101-99. Правила надзора, обстеження, проведення технічного обслуговування и ремонта промислових димових и

вентиляционных труб : издание официальное : принят и введен в действие постановлением Госстроя России от 14.07.99 № 2 : дата введения 2000-01-01 / разработан Ассоциацией «Ростеплостроймонтаж» при участии ЗАО «Союзтеплострой», ЗАО «Тепломонтаж», АПСФ «Спецжелезобетонстрой». – Москва : Госстрой, 1999. – 27 с. – Текст : непосредственный.

106. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. N 126/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. : актуализированная редакция СНиП II-23-81*" (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) : дата введения 2017-08-28 / исполнители АО «НИЦ "Строительство"», МГСУ, СПбГАСУ. – Москва : Минстрой России, 2017. – 151 с. – Текст : непосредственный.

107. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. N 891/пр-ст : дата введения 2017-06-04 / исполнители ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ "Строительство"» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова». – Москва : Стандартформ, 2017. – 105 с. – Текст: непосредственный.

108. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения особые воздействия = Buildings and structures. Accidental actions : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2017 г. N 1105/пр-ст: дата введения 2018-02-04 / исполнители АО «НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко» при участии АО МНИИТЭП, ФГБУ «ГГО им. А. И. Воейкова». – Москва : Стандартформ, 2018. – 30 с. – Текст: непосредственный.

109. Справочник по проектированию линий электропередачи / авторы К. П. Крюков, М. А. Реут, М. Б. Вязьменский [и др.] ; под редакцией

С. С. Рокотяна, М. А. Реута. – Москва : Энергия, 1980. – 296 с. – Текст : непосредственный.

110. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / А. В. Перельмутер, В. М. Гордеев, Є. В. Горохов [та ін.] ; за редакцією д-ра техн. наук А. В. Перельмутера. – Київ : «Сталь», 2002. – 166 с. – Текст : непосредственный.

111. СТО 56947007- 29.240.55.111-2011. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». Методические указания по оценке технического состояния ВЛ и остаточного ресурса компонентов ВЛ : утверждён и введён в действие Приказом ОАО "ФСК ЕЭС" от 30.12.2011 № 817 : введен впервые : дата введения 2011-12-30 / разработчик ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 85 с. – Текст : непосредственный.

112. Стрелецкий, Н. С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений / Н. С. Стрелецкий. – Москва : Стройиздат, 1947. – 94 с. – Текст : непосредственный.

113. Танасогло, А. В. Исследование устойчивости решетчатых стальных опор линий электропередачи / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сборник научных трудов. – 2011. – № 15. – Часть 3. – С. 233–238.

114. Танасогло, А. В. Оптимальные конструктивные решения двухцепных анкерно-угловых опор линий электропередачи 110 кВ / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – Том 11, № 1. – С. 5–14.

115. Танасогло, А. В. Узкобазые конструкции решетчатых опор воздушных линий повышенной надежности / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – Выпуск 2015-3(113) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 50–53.

116. Танасогло, А. В. Численно-аналитическая методика решения задачи устойчивости пространственных решетчатых конструкций /

А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2015. – Том 21, № 3. – С. 107–117.

117. Тетиор, А. Н. Обследование и испытание сооружений / А. Н. Тетиор, В. Н. Померанец. – Київ : Вища школа, 1988. – 207 с. – Текст : непосредственный.

118. Титков, С. О. Уточнение ветровой нагрузки на башенные металлические градирни с учетом особенностей конструктивной формы и этапов возведения : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Титков Сергей Олегович ; ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2023. – 179 с. – Текст : непосредственный.

119. Оржеховский А.Н. Особенности напряженно-деформированного состояния и надежность проектируемых и эксплуатируемых рамно-консольных покрытий над трибунами стадионов: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Оржеховский Анатолий Николаевич; ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2017. – 159 с. – Текст : непосредственный.

120. Трофимов, В. И. Исследование устойчивости и несущей способности металлических конструкций типа опор электропередачи / В. И. Трофимов. – Москва : Госэнергоиздат, 1983. 320 с. – Текст : непосредственный.

121. Турбин, С. В. Методика определения предельных нагрузок на металлические опоры ВЛ / С. В. Турбин, Н. С. Смирнова // Многогранные гнутые стойки (МГС) : сборник докладов II международной конференции, 2007 г., Николаевка ; 1-е изд. – Днепропетровск : [б. и.], 2007. – С. 218–229.

122. Фокин, Ю. А. Оценка надежности систем электроснабжения / Ю. А. Фокин, В. А. Туфанов. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 224 с. – Текст :

непосредственный.

123. Хамидуллин, И. Н. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 35–500 кВ / И. Н. Хамидуллин, В. К. Ильин. – Текст : непосредственный // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – Том 12, № 1. – С. 45–53.

124. Шевченко, Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухцепной анкерно-угловой опоры ВЛ 330 кВ с использованием различных программных комплексов / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2 – С. 31–39.

125. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование конструкций башенных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ / Е. В. Шевченко, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2013. – Выпуск 2013-3(101) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 114–116.

126. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи : монография / Е. В. Шевченко. – Макеевка : ДонНАСА, 2009. 169 с. – Текст : непосредственный.

127. Шелихова, Е. В. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатируемых электросетевых конструкций : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шелихова Елена Викторовна ; Донбасская государственная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2003. – 157 с. – Текст : непосредственный.

128. Экспериментальные исследования узлов крепления типа КГП для обеспечения надежности ВЛ / Я. В. Назим, В. Н., Васылев, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 3. – С. 199–208.

129. Яковлев, Л. В. Комплекс работ и предложений по повышению

надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации / Л. В. Яковлев, Р. С. Каверина, Л. А. Дубнич. – Текст : непосредственный // Линии электропередачи-2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс : сборник научных трудов третьей Российской с международным участием научно-практической конференции, 2008, Новосибирск. – Новосибирск : [б. и.], 2008. – С. 28–49. – URL: <https://www.elsi.ru/upload/medialibrary/18e/18e6ba67d13fff88c7e9ba2d83f4a199.pdf> (дата обращения: 11.01.2022).

130. AIJ Recommendations for Loads on Buildings / Architectural institute of Japan (AIJ). – Tokyo : Architectural institute of Japan, 1996. – 133 p. – ISBN: 4818904597, 9784818904590. – Текст : непосредственный.

131. A new methodology for analysis of equivalent static wind loads on super-large cooling towers / S. T. Ke, Y. J. Ge, L. Zhao [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2012. – Volume 111. – P. 30–39.

132. A study on the average wind load characteristics and wind-induced responses of a super-large straight-cone steel cooling tower / S. T. Ke, L. Y. Du, Y. J. Ge [et al.]. – Текст : непосредственный // Wind and Structures. – 2017. – Volume 25, № 5. – P. 433–457.

133. Ayyub, B. M. Probability, Statistics, and Reliability for Engineers and Scientists / B. M. Ayyub, R. H. McCuen ; third edition. – Boca Raton, FL : CRC Press, 2011. – 672 p. – Текст : непосредственный.

134. Birolini, A. Reliability Engineering: Theory and Practice / A. Birolini ; fourth edition. – Berlin ; New York ; Barselona : Springer, 2004. – 568 p. – Текст : непосредственный.

135. CIGRE 22-206. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines : CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206 / J. Lamsoul, J. Rogier, P. Couneson [et al.]. – [Paris : s. n.], 2000. – 6 p. – Текст : непосредственный

136. CIGRE 322. State of the art of conductor galloping : a complementary

document to «Transmission line reference book – Wind-induced conductor motion. Chapter 4: Conductor galloping». Based on EPRI Research project 792 : June 2007 / L. Jean-Louis, V. D., Pierre, J.-M. Asselin [et al.] ; Convenor, SCB2 WG11. – [Paris : s. n.], 2007. – 142 p. – ISBN: 978-2-85873-011-7. – Текст : непосредственный

137. Chakraborty, S. Analysis of corrosion of a stack structure in a thermal power plant: a case study / S. Chakraborty & P. Sengupta. – Текст : непосредственный // International Journal of Corrosion. – 2016. – Online ISSN: 1687-9333, Print ISSN: 1687-9325.

138. Design of Latticed Steel Transmission Structures : Book – Standard / American Society of Civil Engineers. ANSI/ASCE 10-90. – New York : ANSI, 1991. – 64 p. – Текст : непосредственный.

139. DIN V ENV 1991-1. Eurocode 1. Basic of design and actions on structures – Part 1: Basic of design : German version ENV 1991-1:1994/NA Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Grundlagen der Tragwerksplanung : this Standard was approved on 12 December 1995. – Bauwesen : [s. n.], 1995. – 56 p. – Текст : непосредственный.

140. Failure analysis of a corroded smokestack / J. Zhang, J. Pan, X. Tang [et al.]. – Текст : непосредственный // Engineering Failure Analysis. – 2015. – Volume 52. – P. 119–129.

141. Flyvbjerg, B. Underestimating costs in public works projects: Error or lie? / B. Flyvbjerg, M. S. Holm, S. L. Buhl. – Текст : непосредственный // Journal of the American Planning Association. – 2018. – Volume 84(3). – P. 229–246.

142. Freathy, P. E. Misuse of standards: why wind damage occurs at low wind speeds? / P. E. Freathy. – Текст : непосредственный // Proceeding of the 4th UK Conferences on Wind Engineering, 2-4 September 1998, Bristol / editor by Paul Edward Freathy. – Bristol, (UK) : [PF Consultants], 1998. – P. 201–202.

143. Frisk, T. Investigation of corrosion of stack in wood pellet / T. Frisk, R. Sepper. – 2017. – Текст : непосредственный.

144. Horokhov, Ye. V. Principles of Overhead Line Reliability and Longevity Increasing under Ice and Wind Loads / Ye. V. Horokhov, S. V. Turbin, G. I. Grimud. – Текст : непосредственный // 15 Internationale Baustofftagung, 24–27 Septembr 2003, Weimar, Bundesrepublik Deutschland. – 2003. – Band 1. – P. 1427–1439.

145. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines : International standard : Third edition. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 2002. – 186 p. – Текст : непосредственный.

146. Kazakevitch, M. Interaction of Wind with the Ice-Covered Members / M. Kazakevitch, I. Grafsky. – Текст : непосредственный // Proceeding 12th International Association for Bridge and Structural Engineering Congress, 3–7 September 1984, Vancouver, BC. – Zürich, Switzerland : IABSE, 1984. – P. 853–857.

147. Lifetime-oriented structural design concepts / F. Stangenberg, R. Breitenbücher, O. T. Bruhns [and oth.]. – Berlin : Springer-Verlag, 2009. – 723 p. – Текст : непосредственный.

148. Min, L. Optimal bridge maintenance planning based on probabilistic performance prediction / L. Min, D. M. Frangopol. – Текст : непосредственный // Engineering Structures. – 2004. – Volume 26. – P. 991–1002.

149. Mohamed A. El-Reedy. Construction Management and Design of Industrial Concrete and Steel Structures / A. Mohamed. El-Reedy. – New York : Taylor and Francis Group, 2011. – 576 p. – Текст : непосредственный.

150. O'Connor, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering / Patrick D. T. O'Connor, Andre Kleyner ; fourth edition. – Chichester : Wiley, 2002. – 548 p. – Текст : непосредственный.

151. Orawski, G. Overhead distribution lines – some reflections on design / G. Orawski, J. Bradbury, M. Vanner. – Текст : непосредственный // Generation, Transmission and Distribution. – 2019. – Volume 133, issue 7. – P. 409–424.

152. Rausand, M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications / M. Rausand, A. Høyland ; second edition. - Hoboken, NJ :

Wiley-Interscience, 2004. – 672 p. – Текст : непосредственный.

153. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV / Ye. Shevchenko, Ya. Nazim, A. Tanasoglo [et al.]. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2015. – Volume 117. – P. 1033–1040.

154. Ross, S. M. Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists / S. M. Ross ; second edition. – San Diego, CA : Academic Press, 2000. – 598 p. – Текст : непосредственный.

155. Wadell, Brian C. Transmission Line Design : handbook / В Brian C. Wadell. – Norwood : Artech house, 2005. – 266 p. – Текст : непосредственный.

156. Waeyenbergh, G. A framework for maintenance concept development / G. Waeyenbergh, L. Pintelon // Production Economics. – 2002. – Volume 77. – P. 299–313.

157. Washington State Bridge Inspection Manual M 36-64.02 / Washington State Department of Transportation. – Washington : [s. n.], 2010. – 377 p. – Текст : непосредственный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Акты и справки внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ:

Директор технической единицы
«Харцызские электрические сети»

ГУП ДНР «РЕГИОНАЛЬНАЯ
ЭНЕРГОПОСТАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ»

В.Н. Панченко

«21» декабря 2022



СПРАВКА

Дана *Смирновой Наталье Сергеевне*, старшему преподавателю кафедры «Металлические конструкции и сооружения» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, в том, что основные положения методики расчета и проектирования реконструкции металлических опор ВЛ, разработанные в рамках работы над диссертационной работой по теме «Оптимизация реконструкции ВЛ с учетом надежности электроснабжения потребителей», использованы при разработке проектных предложений по обследованию, реконструкции и усилению металлических опор линий электропередач, находящихся в эксплуатационной ответственности технической единицы «Харцызские электрические сети».

Справка дана для предоставления в диссертационный совет Д 01.003.02 при ГОУ ВПО «Донабсская национальная академия строительства и архитектуры» для защиты кандидатской диссертационной работы и получения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции здания и сооружения».

Директор



В.Н. Панченко



**Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики**

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»**

286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2, тел.: +7(856) 343-70-33, email: mailbox@donnasa.ru,
ОКПО 76406710, ОГРН 1229300156535, ИНН 9311020905, КПП 931101001

от 07.12.2022 № 17
на № _____ от _____

Диссертационный совет
02.2.001.02.
при ГОУ ВПО «Донбасская
национальная академия
строительства и архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Смирновой Натальи Сергеевны на тему «Оптимизация реконструкции высоковольтных линий с учётом надёжности электроснабжения потребителей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1 - Строительные конструкции, здания и сооружения, в учебный процесс

Результаты диссертационных исследований Смирновой Натальи Сергеевны, а именно методики оптимизации реконструкции высоковольтных линий с учётом надёжности электроснабжения потребителей, внедрены в учебный процесс в качестве учебного материала по таким дисциплинам: Б1.В.ДВ.08.01 «Металлические конструкции (спецкурс)» (в 7 семестре, объемом 2 з.е.), Б1.В.09 «Обследование зданий и сооружений» (в 8 семестре, объемом 2 з.е.) для направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство»; Б1.В.ДВ.05.01 «Испытание и обследование конструкций зданий и сооружений» (в 1 семестре, объемом 4 з.е.); Б1.В.04 «Расчет и проектирование зданий и сооружений» (во 2 семестре, объемом 3 з.е.); Б1.В.ДВ.04.01 «Расчет и проектирование усиления строительных конструкций» (во 2 семестре, объемом 3 з.е.) для направления подготовки 08.04.01 «Строительство», программа «Теория и проектирование зданий и сооружений (МК)», что отображено в учебных планах и рабочих программах дисциплин (модулей).

Члены комиссии:

Первый проректор
д.т.н., профессор


Декан строительного факультета,
к.т.н., доцент

Начальник учебной части,
к.т.н., доцент




В.Г. Севка


Э.А. Лозинский


А.А. Сухина

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.**Б.1. Дефекты опор линии 110кВ**

Рисунок Б.1.1 - Отсутствие диафрагм жесткости нижней секции



Рисунок Б.1.2 - Отсутствие опорных раскосов

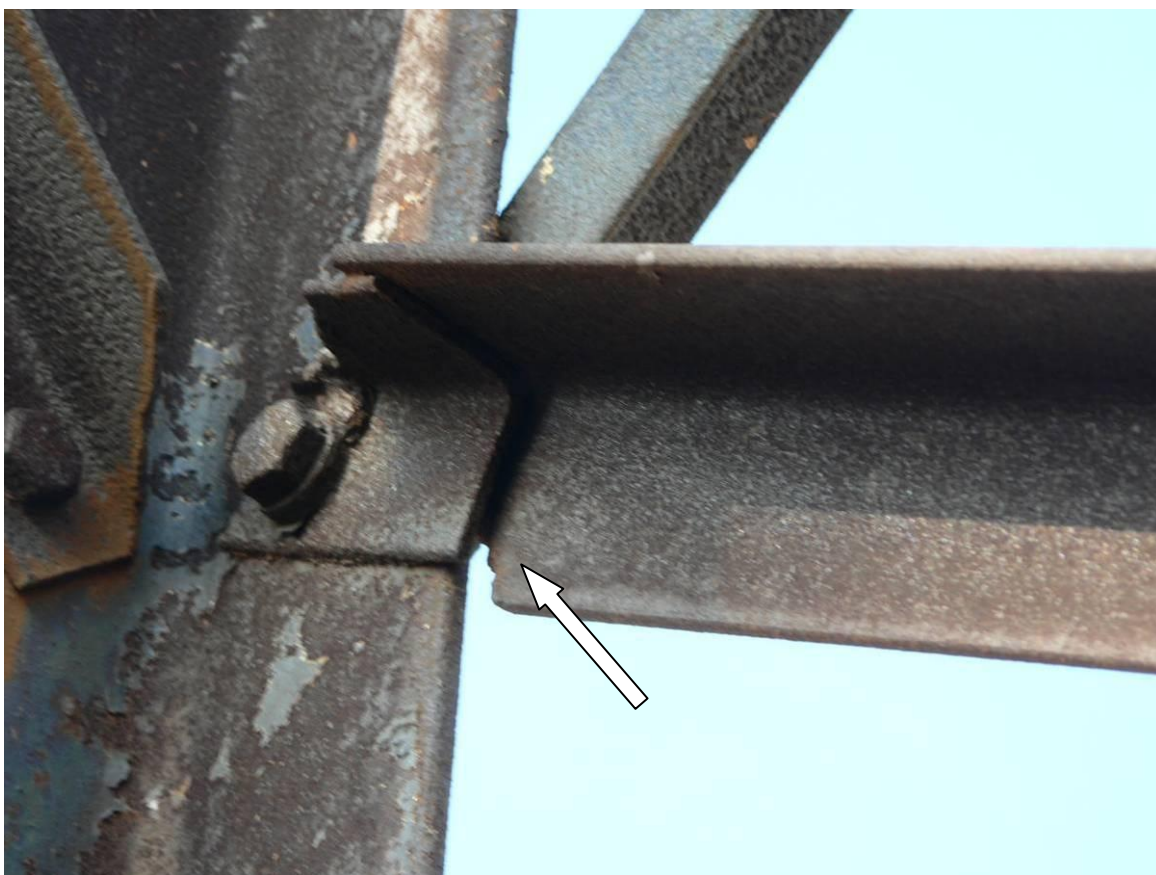


Рисунок Б.1.3 - Непроектная установка опорных раскосов



Рисунок Б.1.4 - Щелевая коррозия в фасонках башмаков

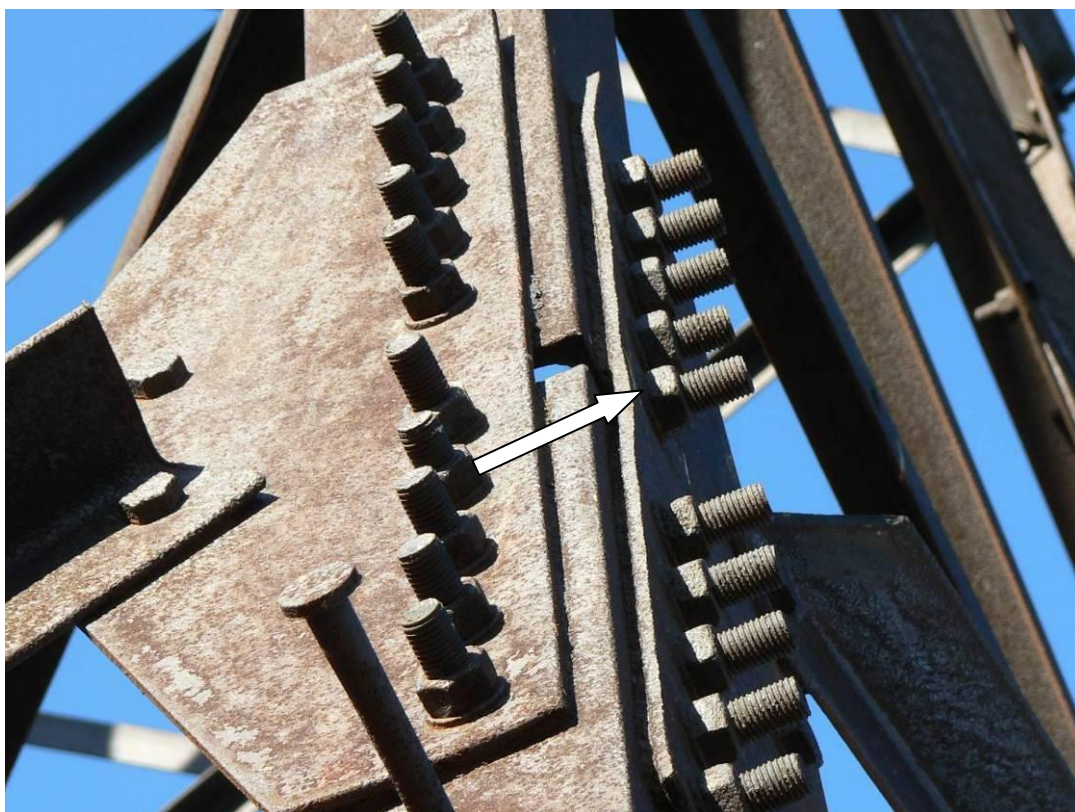


Рисунок Б.1.5 - Щелевая коррозия в узлах стыковки секций с подставками с деформацией элементов фасонки



Рисунок Б.1.6 - Щелевая коррозия в фасонках стыковки траверс с деформацией элементов фасонки

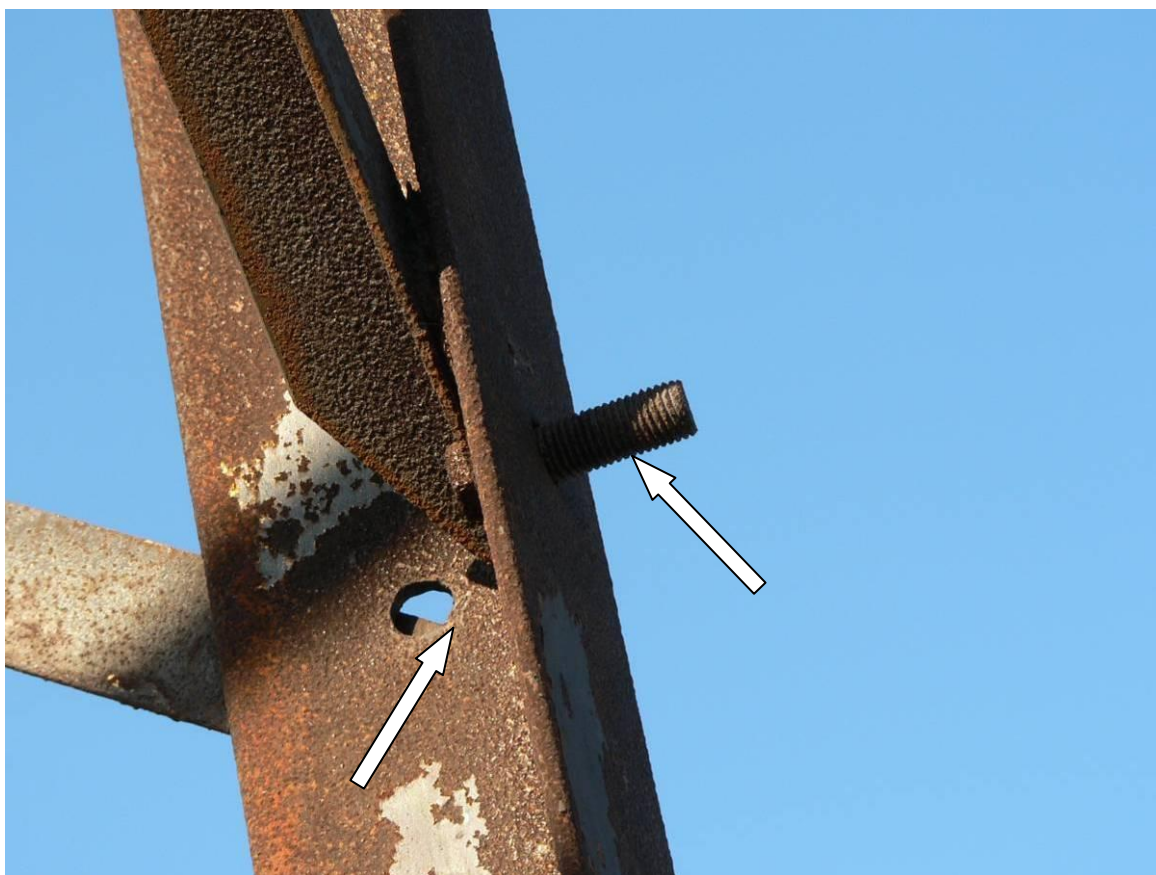


Рисунок Б.1.7 - Отсутствие проектных болтов в узлах, отсутствие гаек



Рисунок Б.1.8 - Разрушение защитного слоя бетона фундаментов. Коррозия арматуры



Рисунок Б.1.9 - Общая поверхностная коррозия и раковины на поверхности металла



Рисунок Б.1.10 - Разрушение лакокрасочного покрытия



Рисунок Б.1.11 - Повреждение заземления опор



Рисунок Б.1.12 - Отсутствие горизонтальной планировки

Б.2. Дефекты опор линии 220кВ



Рисунок Б.2.1 - Разрушение защитного слоя бетона фундаментов



Рисунок Б.2.2 - Трещины в сварных швах и отрыв сварных швов



Рисунок Б.2.3 - Щелевая коррозия металла в соединениях в местах примыкания пояса и раскоса к башмаку



Рисунок Б.2.4 - Щелевая коррозия металла в соединительных фасонках опорных раскосов



Рисунок Б.2.5 - Щелевая коррозия металла в стыках секций ствола опоры

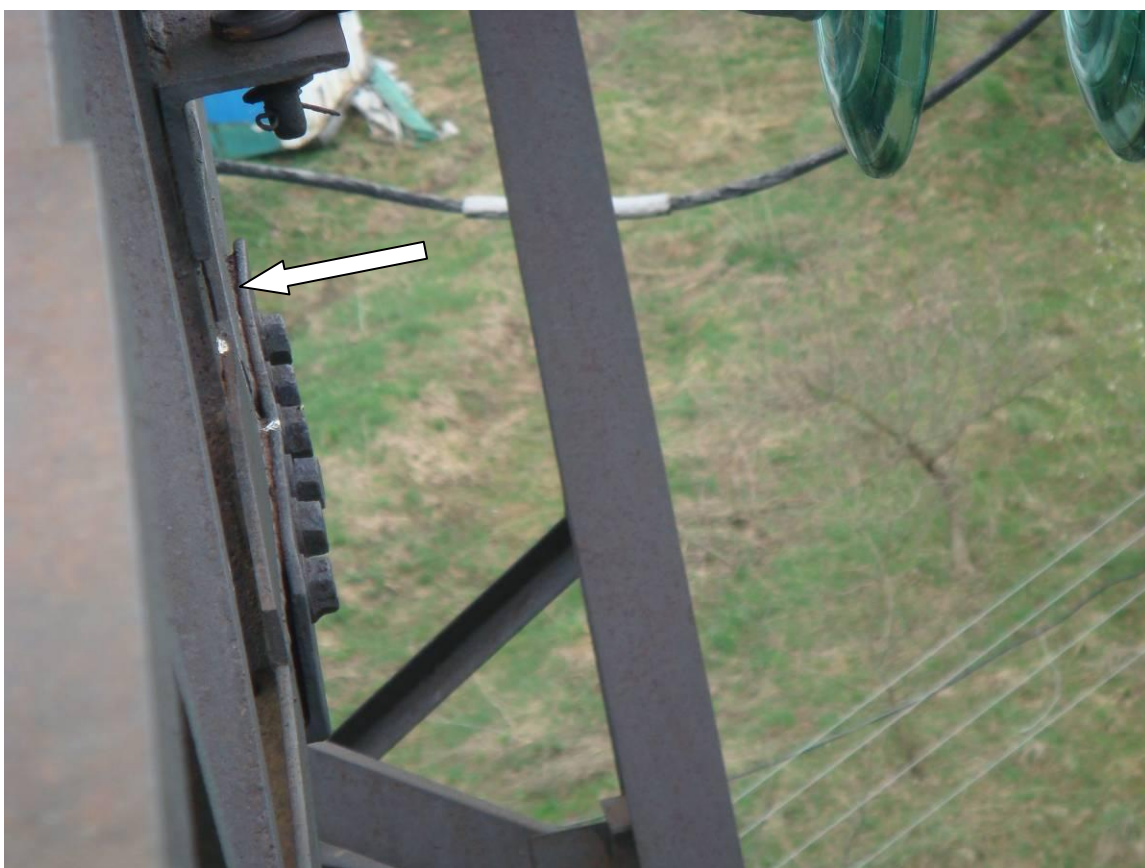


Рисунок Б.2.6 - Щелевая коррозия металла в стыковых уголках поясов траверсы



Рисунок Б.2.7 - Щелевая коррозия металла в фасонках крепления тросостоек



Рисунок Б.2.8 - Щелевая коррозия металла в узлах крепления раскосов к поясам



Рисунок Б.2.9 - Деформация стержней решетки и поясов



Рисунок Б.2.9 - Общая деформация ствола опоры



Рисунок Б.2.10 - Общая поверхностная коррозия и раковины на поверхности металла



Рисунок Б.2.11 - Разрушение защитного лакокрасочного покрытия



Рисунок Б.2.12 - Повреждение изоляторов

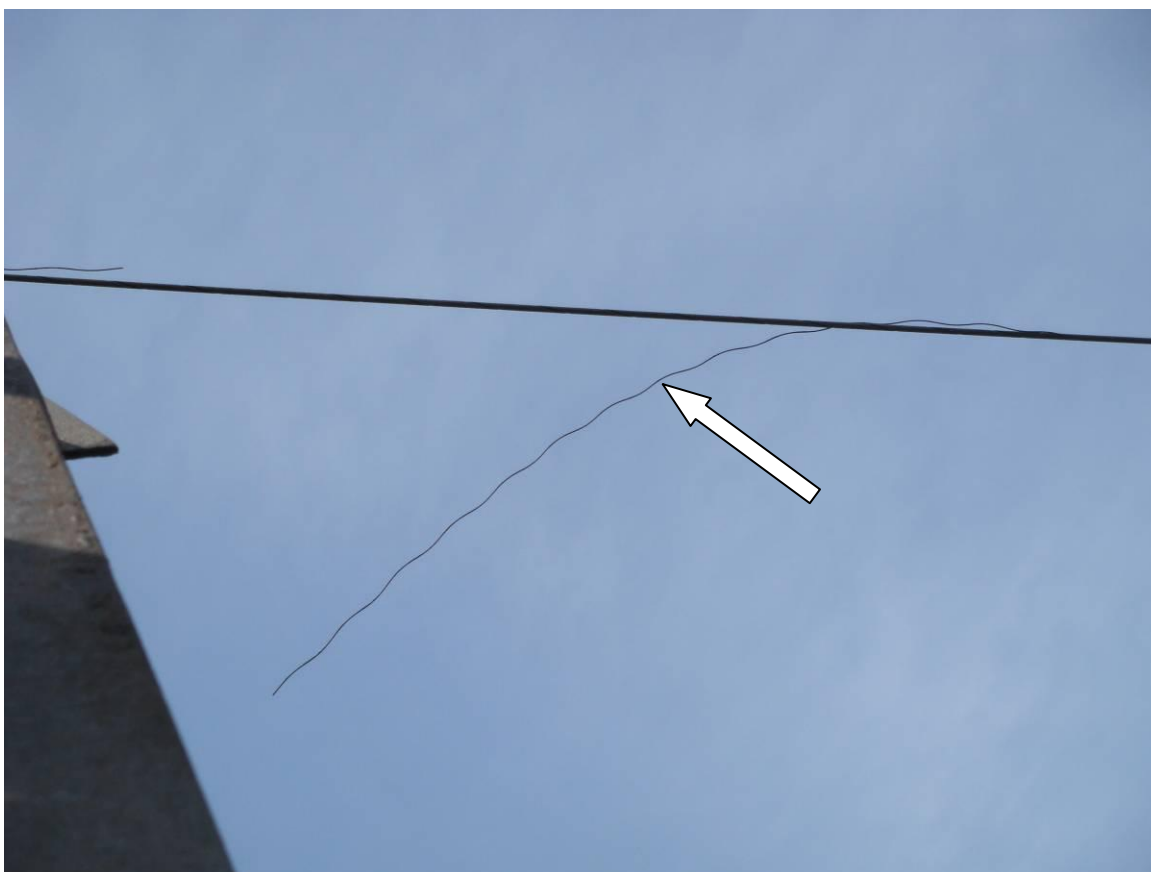


Рисунок Б.2.13 - Повреждение грозозащитного троса



Рисунок Б.2.14 - Повреждение заземления

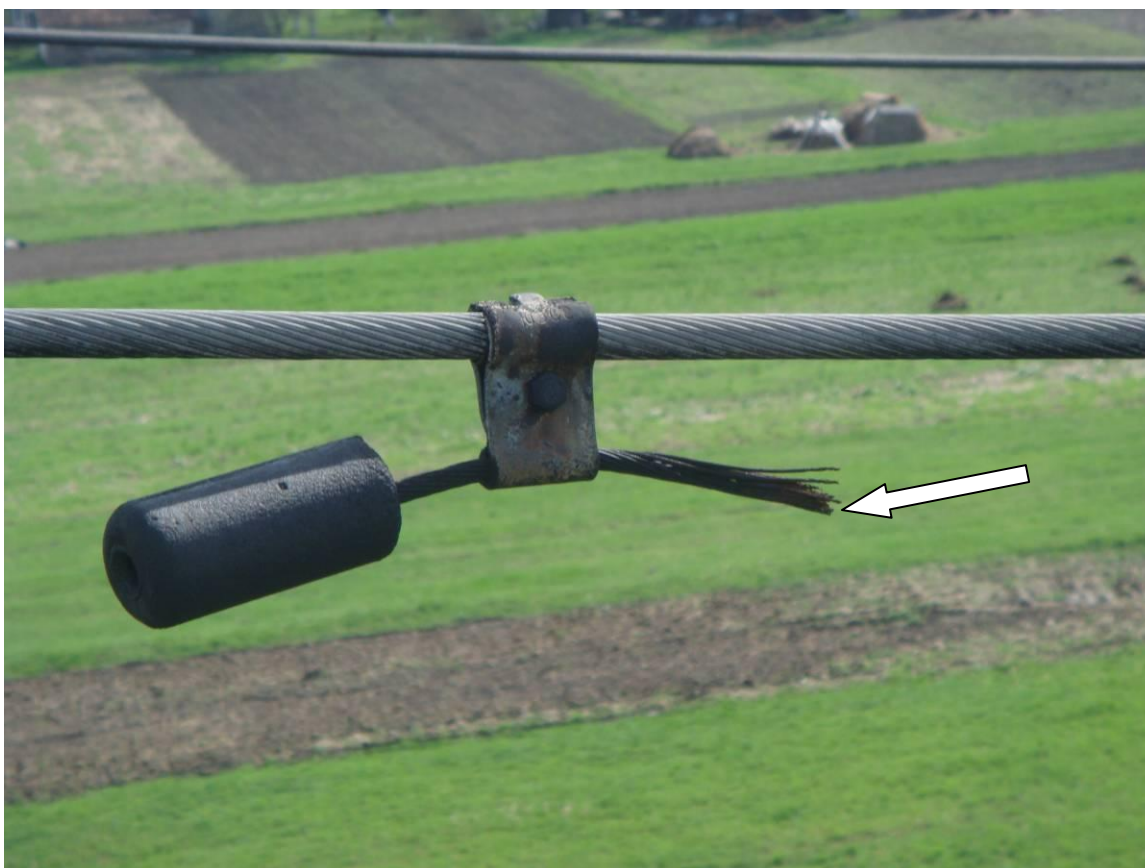


Рисунок Б.2.15 - Разрушение виброгасителей



Рисунок Б.2.16 - Деформация фасонки



Рисунок Б.2.17 - Разрушение цинкового покрытия линейной арматуры



Рисунок Б.2.18 - Фундаменты засыпаны грунтом

Б.3. Дефекты опор линии 330кВ



Рисунок Б.3.1 - Фундаменты засыпаны грунтом



Рисунок Б.3.2 - Щелевая коррозия металла в стыках поясов стоек

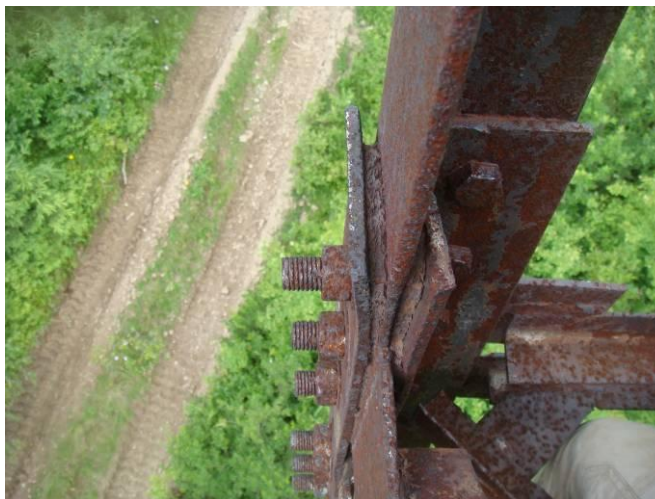


Рисунок Б.3.3 - Щелевая коррозия металла в стыках поясов стоек



Рисунок Б.3.4 - Коррозия башмаков опор

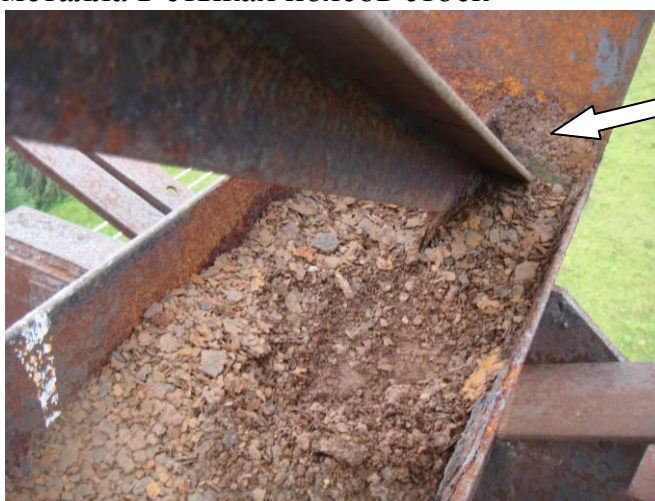


Рисунок Б.3.5 - Коррозия распорок и поясов тросостоек



Рисунок Б.3.6 - Коррозия консолей крепления грозотроса



Рисунок Б.3.7 - Коррозия консолей крепления грозотроса



Рисунок Б.3.8 - Коррозионное повреждение заземления



Рисунок Б.3.9 - Трещины в сварных швах в местах крепления раскосов



Рисунок Б.3.10 - Трещины в сварных швах крепления сухарей тяжелой траверс



Рисунок Б.3.11 - Трещины в сварных швах в оп.322 по верхним поясам траверс



Рисунок Б.3.12 - Отсутствуют стержни опоры



Рисунок Б.3.13 - Повреждения оттяжек. Отсутствуют 2-е сжимы



Рисунок Б.3.14 - Повреждение изолятора



Рисунок Б.3.15 - Фундаменты засыпаны грунтом



Рисунок Б.3.16 - Щелевая коррозия стыков поясов стоек



Рисунок Б.3.17 - Щелевая коррозия в месте примыкания пояса к фасонке башмака



Рисунок Б.3.18 - Щелевая коррозия в стыках крепления поясов тросостоек к фасонкам траверс



Рисунок Б.3.19 - Коррозия башмаков опор



Рисунок Б.3.20 - Коррозия распорок и поясов тросостоек



Рисунок Б.3.21 - Коррозия распорок и поясов тросостоек



Рисунок Б.3.22 - Коррозионное повреждение заземления



Рисунок Б.3.23 - Трещины в сварных швах



Рисунок Б.3.24 - Общая поверхностная коррозия и раковины на поверхности металла



Рисунок Б.3.25 - Повреждения оттяжек. Канат обрезан после клинового зажима



Рисунок Б.3.26 - В оп.343 в оттяжке перерезано 11 нитей



Рисунок Б.3.27 - Коррозия оттяжек



Рисунок Б.3.28 - Деформация стержней раскосов

Опоры У-15мо, У-30мо, У-45м, У-60м



Рисунок Б.3.29 - Разрушение бетона фундаментов



Рисунок Б.3.30 - Щелевая коррозия металла в соединениях



Рисунок Б.3.31 - Трещины в сварных швах



Рисунок Б.3.32 - Отсутствуют стержни опоры



Рисунок Б.3.33 - В башмаках и подставках под них отсутствуют дренажные отверстия

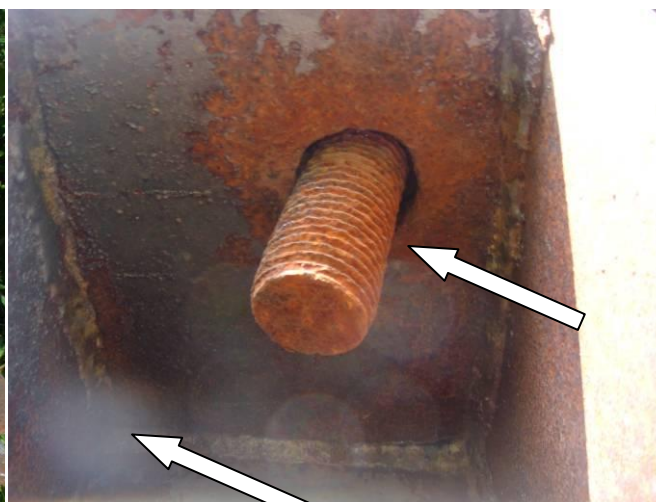


Рисунок Б.3.34 - В оп.341 отсутствует один болт крепления траверсы к стойке



Рисунок Б.3.35 - В оп.341 отсутствует одна гайка анкерного болта

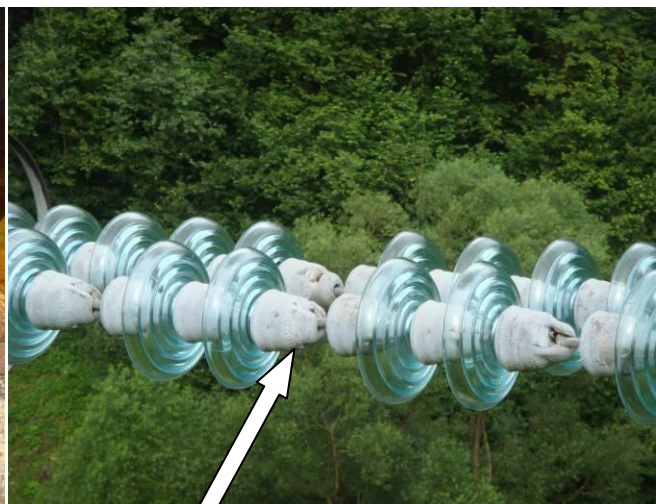


Рисунок Б.3.36 - Повреждение изоляторов

Б.4. Дефекты опор линии до и после реконструкции



до реконструкции



после реконструкции



до реконструкции



после реконструкции



до реконструкции



после реконструкции



до реконструкции



после реконструкции



до реконструкции



после реконструкции

ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Сметная документация по возведению и замене элементов опоры ВЛ Вариант на полную замену опоры

Утверждено приказом № 421 от 4 августа 2020 г. Минотдел Приаурского района № 567 от 7 июля 2022 г.

Проект № 3
Применены нормативные акты:
Применены нормативные акты:
Применены нормативные акты:
Применены нормативные акты:
Применены нормативные акты:
Применены нормативные акты:

Смета на выполнение работ по возведению и замене элементов опоры ВЛ. Вариант на полную замену опоры.

Итого: ...

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (СМЕТА) № 4-1-1

Составлен	Разработан	Исполнен	Проверен	Проектирование и монтаж		Монтажные работы	
				07.08.2025 г.			
Сметная стоимость:							
в том числе:							
за проектные работы							
за монтажные работы							
за оборудование							
прочие затраты							
Средства на оплату труда рабочих							
Итого на оплату труда рабочих							
Нормативные затраты на оплату труда рабочих							
Итого:							

№ п/п	Обозначение	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество						Оценочная стоимость, руб.					
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	коэффициенты	всего с учетом уровня цен	на единицу измерения в базисном уровне цен	коэффициенты	всего с учетом уровня цен			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Рядовый 1. Во главе группы															
6	ПНО103247-08-12	Установка стальной опоры отпора инвертору-установки, соблюдение стандарта отключенных насосов в случае 15 до 25 т	т	30,346											
	1 ОПОПТ		шт.-ч	21,6		441,361	0,00		290,09		126,026,01				
	2 ЗИМ		шт.-ч			441,361					126,026,01				
	1100-02	Средний размер работы 4,2 (ор. 4,2)	шт.-ч								161,076,03				
	ОПМ(ЗПМ)		шт.-ч			106,00005					37,644,91				
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	малая	0,40		9,3127	1,107,70		1,269,45		12,660,12				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	0,40		9,3127			376,36		3,623,74				
	91.05.14-010	Краны грузоподъемностью с грузоподъемным устройством с лебедкой, мощностью 132 кВт (160 л.с.), без учета трактора, грузоподъемность 25 т	малая	2,45		49,00025	271,41	1,13	306,69		15,211,96				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч						376,36		0,00				
	91.06.01-002	Домкраты гидравлические, грузоподъемность 6,2-25 т	малая	2,45		49,00025	0,54	1,2	30,24		30,24				
	91.06.06-001	Стрелы монтажные А-образные для грузоподъемности до 25 т	малая	0,42		8,9029	62,91	1,13	104,69		660,72				
	91.13.05-111	Стенды автомобильные, грузоподъемность до 6 т	малая	1,4		28,343	1,070,69	1,12	1,199,51		33,967,71				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	1,4		28,343			376,36		10,734,42				
	91.15.05-009	Тракторы на гусеничном ходу с лебедкой 132 кВт (160 л.с.)	шт.-ч	3,67		73,27466	1,921,77	1,06	1,643,91		119,764,11				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	3,67		73,27466			353,72		23,360,75				
	Итого по таблице 1														
	ФОТ		%	100		100					347,262,39				
	Пройт: 007.04	НР Завис отяг распределе	%	60		60					166,673,52				
	Пройт: 4027.0	СП Неизм. отяг распределе	%	60		60					170,643,75				
	Всего по таблице 1														
4	ФНО103247-07-04-0008	Опора для стальной карповой вышки 20,368 т (1,02)	т	30,6228			122,074,68		36,481,49		617,265,19				
	Объем вышки 40*1,00														
	Всего по таблице 1														
7	ФНО103247-16-02-0061	Волны инверторы	т	2,69			69,130,68		66,453,78		2,648,468,37				
	Всего по таблице 1														
8	ФНО103247-23-02-0300	Импульсные трансформаторы	100 кг	6,03			66,448,10		66,426,76		237,664,02				
	Объем вышки 1,00														
	Всего по таблице 1														
3	ПНО103247-08-03	Подъемник гидравлический 10 т (3 л.с. в разводе) сцепление: шкворн 200 мм, без привода и отцепления при длине инвертора от 10 до 1 км (6 проходов)	км	0,028							1,162,22				
	1 ОПОПТ		шт.-ч	127	2	0,09	0,00		276,36		2,465,12				
	2 ЗИМ		шт.-ч			0,09					2,465,12				
	1100-08	Средний размер работы 3,0 (ор. 3,0)	шт.-ч								4,025,67				
	ОПМ(ЗПМ)		шт.-ч			3,4069					1,235,01				
	91.06.05-014	Автомобильные, высота подъема 20 м	малая	91,2	2	1,136	912,37	1,12	1,021,65		1,190,79				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	91,2	2	1,136			376,36		420,06				
	91.11.05-001	Тележки раскаточные на гусеничном ходу	малая	1,3	2	0,08	169,07	1,13	214,33		19,56				
	91.13.05-111	Стенды автомобильные, грузоподъемность до 6 т	малая	21,04	2	1,4729	1,070,69	1,12	1,199,51		1,766,04				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	21,04	2	1,4729			376,36		697,26				
	91.14.02-002	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 6 т	малая	3,52	2	0,2464	611,75	1,06	646,46		199,76				
	4100-080	ОПМ(ЗПМ) Средний размер, малая, в	шт.-ч	3,52	2	0,2464			281,60		69,41				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	911600-000	диэлектрические изоляторы с ребрами 130 мм (000 Л.С.)	малозво	0,91	2	0,0037	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0001
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	2,91	2	0,0037			303,72		1792,34
	912116-012	Прокладки из эпоксидной смолы с алюминиевыми ребрами	малозво	11,36	2	0,7066	1,11	1,11	1414		11,36
		Итого по группе в заделы							3163,77		3163,77
		ФОТ							3163,77		3163,77
	Прод15-007-04	ИР Лазерная регистрация	%	100		100			3163,77		3163,77
	Пр774007-0	СП Лазерная регистрация	%	60		60			2200,66		2200,66
		Итого по позиции							5364,43		5364,43
3	100103301-000-01	Лазерная установка проволочного зроби 807 250-000 мм малозво "Лазерная установка" без присоединения к компьютеру, с кабелем питания, длиной кабеля 1 м	малозво			0,038					1,020,46
	1 01(01)	процессор до 1 ГГц	малозво			0,0325			270,30		1,020,46
	1 100(00)	Средней длины работы 3, 6 (сп 310)	малозво	10,95		0,0325					4,070,96
	2 3M										900,77
		ОП(ОЗМ)									660,34
	911006-010	Катушка на алюминиевые ребра, прозрачность 25%	малозво	1,22		0,427		1,00	1,00	1,00	172,34
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	1,22		0,427			400,60		711,77
	911006-014	Алюминиевые ребра, высота ребра 20 мм	малозво	1,99		0,0665			912,37		263,54
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	1,99		0,0665			370,36		730,74
	911100-001	Матрица для лазерной регистрации "Лазерная установка" (с кабелем питания) 101	малозво	0,64		0,25		1,00	3107,66		112,07
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	1,20		0,44			250,15		360,54
	911404-002	Углы скрепления, матрица на алюминиевые ребра до 15°	малозво	1,22		0,427		703,46			180,25
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	1,22		0,427			303,72		581,4
	911405-012	Лазерная установка, прозрачность до 15°	малозво	1,22		0,427		100,74			1,485,56
	911500-000	Углы скрепления на ребрах 130 мм (000 Л.С.)	малозво	2,6		0,91		1,00	1,00		264,09
	4100-000	ОП(ОЗМ) Средней длины, малозво	малозво	2,6		0,91			303,72		6,66
	912116-012	Прокладки из эпоксидной смолы с алюминиевыми ребрами	малозво	1,36		0,4726		1,11	1414		6176,16
		Итого по группе в заделы							6176,16		6176,16
		ФОТ							6176,16		6176,16
	Прод15-007-04	ИР Лазерная регистрация	%	100		100			2007,23		2007,23
	Пр774007-0	СП Лазерная регистрация	%	60		60			2091,45		2091,45
		Итого по позиции							4098,68		4098,68
1	00381-2132105-0000	Провод диэлектрический для подключения к лазерной установке АК 100В				1,16		300 420,00	50 378,43		11 460,91
		Итого по позиции							511 917,78		511 917,78
		ФОТ							511 917,78		511 917,78
9	00381-00320206-0040	Кабель диэлектрический ПР, для подключения к лазерной установке, материал, диаметр 12 мм				36		1164,37	873,77		30 646,86
		Итого по позиции							1164,37		1164,37
		ФОТ							1164,37		1164,37
9	00381-2020105-1014	Изолятор углового отклонения ПС-001				1015		893,22	1 032,88		30 646,86
		Итого по позиции							1 032,88		1 032,88
		ФОТ							1 032,88		1 032,88
10	00381-2031407-1000	Скоба СК-7.А				34		138,22	127,83		4 343,63
		Итого по позиции							127,83		127,83
		ФОТ							127,83		127,83
11	00381-2031407-1004	Скоба СК-7.В				154		214,62	212,38		26 126,13
		Итого по позиции							212,38		212,38
		ФОТ							212,38		212,38
12	00381-20316214-1014	Сержант СР-3.16				40		141,28	137,16		8 446,00
		Итого по позиции							137,16		137,16
		ФОТ							137,16		137,16
13	00381-20316214-1000	Сержант СР-05.16				62		115,14	100,76		6 054,00
		Итого по позиции							100,76		100,76
		ФОТ							100,76		100,76
14	00381-20316222-0007	Ушко соединительное узкоформатное УСК-2-16				38		476,08	461,87		17 643,46
		Итого по позиции							461,87		461,87
		ФОТ							461,87		461,87
18	00381-00102222-0000	Ушко соединительное узкоформатное УСК-16-30				22		1 076,11	1 046,37		35 008,81
		Итого по позиции							1 046,37		1 046,37
		ФОТ							1 046,37		1 046,37

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всего по подстанции							16482,77		28 068,84
16	6028L2-30S1402J1-4000	Упл. конденсатор ПТЭ-163	шт		16		223,68	260,48	223,68		3 877,28
		Всего по подстанции					223,68		223,68		3 877,28
17	6028L2-30S1402J1-4043	Упл. конденсатор ПТЭ-2	шт		22		118,28	118,28	118,28		3 873,28
		Всего по подстанции					118,28		118,28		3 873,28
18	6028L2-30S1440J1-1004	Замок при замыкании в ПТЭ-7,8	шт		64		118,28	118,28	118,28		7 464,64
		Всего по подстанции					118,28		118,28		7 464,64
19	6028L2-30S1440J1-1006	Замок при замыкании в контакте с контактом ПТЭ-12,8	шт		62		242,77	242,77	242,77		15 819,72
		Всего по подстанции					242,77		242,77		15 819,72
20	6028L2-30S1440J1-1078	Замок при замыкании в контакте с контактом ПТЭ-18,3А	шт		12		681,60	681,60	681,60		7 123,20
		Всего по подстанции					681,60		681,60		7 123,20
21	6028L2-30S1440J1-1142	Корпусы для универсальных ЖУ-8С-1	шт		28		718,24	718,24	718,24		17 819,76
		Всего по подстанции					718,24		718,24		17 819,76
22	ПНОС3402-003-61	Упл. конденсатор электр. промышленный в группах 1-4 группы для п.пл. до 6 м	шт		3,8						
		Объем=200/100									
		1 ОТ(3Т)	шт/ч		31,38						6 033,48
		1-100-00 Средней реактивной работы 4,0 гр 4	шт/ч		31,38		0,00			261,86	6 033,48
		2 3М	шт/ч								9 003,07
		ОТ(3Т)	шт/ч		10,525						6 031,00
		91.01.04-003 Упл. конденсаторы на трансформатор, емкость 70 мФ (100 л.с.) марка	шт/ч		6,20		660,20	1,1	724,02		2 680,08
		марка 14 см	шт/ч		6,20						2 680,08
		4-100-000 ОТ(3М); Средней реактивной работы, емкость 5	шт/ч		2,30						2 680,08
		91.13.05-111 Средней реактивной работы, емкость до 6 т	шт/ч		2,200		1 070,80	1,12	1 106,61		2 684,02
		4-100-000 ОТ(3М); Средней реактивной работы, емкость 6	шт/ч		0,83						634,33
		91.17.04-004 Архивы конденсаторов с двойными воздушными секциями для релейной защиты, емкость, средний год до 40 А, емкость в годост. 1	шт/ч		3,285		92,16	1,06	100,48		207,06
		4 М									13 465,26
		0.7.11.07-0227 Электрооборудование для секции конденсаторов и утилизаторы: стандарт УОМН 10-65,3-62А, диаметр р-6-6 мм	шт		0,25		155,63	0,44	146,29		51,20
		08-403.00-0002 Сталь арматурная горячекатаная гладкая, класс А-1, диаметр 6,32 мм	т		0,395		63,745,00		42 403,45		13 267,06
		Итого по группе за работу									34 773,76
		ФОТ									12 264,48
		Грунт 12-027 04 НР Лазер измерительный	%		100						12 756,33
		ПР 7744027.0 С13 Маши. измерительные	%		60						7 419,04
		Всего по подстанции							16 664,21		64 633,71
23	ПНОС3402-004-61	3-фазный выключатель промышленный с выключателем на группу до 6 м	шт		12						
		1 ОТ(3Т)	шт/ч		5,4						1 206,47
		1-100-030 Средней реактивной работы 2,9 гр 3(Ф)	шт/ч		5,4		0,00		248,05		1 206,47
		2 3М	шт/ч								1 793,37
		ОТ(3Т)	шт/ч		3,64						1 081,65
		91.17.04-004 Архивы конденсаторов с двойными воздушными секциями для релейной защиты, емкость, средний год до 40 А, емкость в годост. 1	шт/ч		1,44		92,16	1,06	100,48		144,08
		91.18.01-007 Конденсаторы емкостью переключения с двойными воздушными секциями, диаметр до 0,7 МПа (7 км), пропускная способность до 5,4 мВар	шт/ч		3,64		306,54	1,11	342,48		1 315,12
		4-100-000 ОТ(3М); Средней реактивной работы, емкость 4	шт/ч		3,64						1 081,65
		91.21.25-966 Машины электромагнитные для работы в переключательных аппаратах, для таблички в грунт под любым углом наклона к горизонту и включением от крайних диаметров, от 12 до 25 мм, диаметр от 2 до 15 мм	шт/ч		3,64		68,20	1,14	77,75		206,06
		4 М									2 986,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	08.7.1107.0207	Земля роды, впереме для сараи и настириваемы и утирирствы сталь 7045, D=65, S=250, диаметр 4-5 мм	87	0,03	0,84	0,26	166,63	0,84	146,29		62,62
	08.4.03.02-0002	Сталь, проволока гурочка стальная класс А-1, диаметр 6-22 мм	7	0,005	63745,00	0,05			42 403,45		2 544,21
		Итого по 100 тонна в на расы									67763,29
		ФОТ									2 451,12
	Пур715-027.04	ИП Лазин Павел Игоревич	%	100		100					2 463,76
	Пур774-027.0	СП Лазин Павел Игоревич	%	60		60					1 452,67
		Всего по поставкам				60			688,87		10 733,23
		Итого по смете:									4 736 021,41
		Итого прямые затраты (бракоты) в том числе:									146 476,15
		Сетка 17000 работы									200 437,19
		Экструзионный станок									46 473,26
		Сетка 17000 материал с ФОТ									4 371 424,01
		Материалы									5 000 540,84
		Организационные работы в том числе:									146 476,15
		сетка 17000									200 437,19
		экструзионный станок и материал с									46 473,26
		сетка 17000 материал с ФОТ									4 371 424,01
		материалы									188 007,69
		наладочные работы									146 476,15
		сметная работа									188 007,69
		Итого ФОТ (строитель)									100 049,41
		Итого наладочные расходы (бракоты)									188 007,69
		Итого сметные работы (бракоты)									125 169,64
		ВСЕГО по смете									8 643 848,48

Составил:

Проектировщик:

Должность, подпись (подпись, фамилия)
Должность, подпись (подпись, фамилия)

1. Сервис-проектант: Инженерное бюро «Сам» (Российской Федерации 10 сентября 2004 г., регистрационный № 02660), с лицензией, выданной Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 февраля 2021 г. № 30/ФП (сервис-проектант) Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2011 г., регистрационный № 64277.

* При прочих равных показателях цены, учитываемые в соответствии с пунктом 106 Методики.

** При прочих равных показателях цены, учитываемые в соответствии с пунктами 123-126 Методики.

№ п/п	Обозначение	3	4	5	6	7	8		9		10		11	12
							на сумму начислений в базисном уровне цен	коэффициент	на сумму начислений в базисном уровне цен	коэффициент	на сумму начислений в базисном уровне цен	коэффициент		
Итого по разделу 1 в разрезе														
Раздел 1. Занятия инженерных работников отрасли														
1	РФ0133301-086-12	6.1698												
Прямые отчисления: спор-атлетический спорт, самообслуживание с дополнительным весом в сумме 16 до 25 т (полностью открыт)														
Объем м³-С100533														
1 01037														
2 3M														
91.0505-016 Край на автомобильный клуб, производительность 16 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.05.14-81 Край на градирные теплообменники с турбинным транспортом с лебедкой, мощность 132 кВт (180 т.с.), без учета фрейзера, производительность 25 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.0601-002 Диаметр гидротурбины, производительность 63-25 т														
91.0606-91 Стрелы высотные А-образные для грузовой стрелы, высота до 25 м														
91.1305-11 Стендагоснабжение турбин, производительность до 6 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.1505-039 Турбины на турбинном ходу с лебедкой 132 кВт (180 т.с.)														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 5														
Итого по разделу 1 в разрезе														
61006														
60307														
36036														
2134258														
Раздел 3. Занятия инженерных работников отрасли														
3	РФ0133301-086-12	6.1698												
Углекислый газ от 0,000 м³ в разрезе, самообслуживание														
1 01037														
2 3M														
91.0505-016 Край на автомобильный клуб, производительность 16 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.05.14-81 Край на градирные теплообменники с турбинным транспортом с лебедкой, мощность 132 кВт (180 т.с.), без учета фрейзера, производительность 25 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.0601-002 Диаметр гидротурбины, производительность 63-25 т														
91.0606-91 Стрелы высотные А-образные для грузовой стрелы, высота до 25 м														
91.1305-11 Стендагоснабжение турбин, производительность до 6 т														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 6														
91.1505-039 Турбины на турбинном ходу с лебедкой 132 кВт (180 т.с.)														
4100-000 ОМ(3м) Средний разряд, величина 5														
Итого по разделу 3 в разрезе														
2.32360														
2.32360														
0,079609														
0,040006														
0,040006														
0,26117														
37636														
0,17														
0,04772														
9291														
107006														
0,14864														
0,14864														
0,300562														
0,300562														
32372														
123236														
123236														
2134258														

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3.1	ФСО-178.7/1505-0004. В отсыпленные карьерные с выемочной горючей и скарлатанной месторождениями, диаметр разрыва болта в гайку М12, длина болта в 20-100 мм		шт	0	0	0	0	0	10725	0	10610	0,00
	ФОТ										672,56	
	При 12-027.04 НР Личия лентеридиум		%	100		100					666,52	
	При 774-027.0 СП Личия лентеридиум		%	60		60					523,41	
	Всего по позиции								10725	16,481,27	3,260,27	
4	ФСО-178.7/1505-0004. В отсыпленные карьерные с выемочной горючей и скарлатанной месторождениями, диаметр разрыва болта в гайку М12, длина болта в 20-100 мм	Объем 100671,00	т	0	0	0	0	0	127 687,81	168 666,68	17 468,14	
	Всего по позиции								127 687,81	168 666,68	17 468,14	
	Итого всего:								127 687,81	168 666,68	17 468,14	
	Итого по строкам:										30 512,91	
	в том числе:										1 140,00	
	Отпуск труда рабочих										1 625,37	
	Затраты на материалы										326,66	
	Отпуск труда механизмов (СМ)										7 408,14	
	Материалы										2 624,66	
	Отпуск на работы в том числе:										1 140,00	
	отпуск труда механизмов (СМ)										1 625,37	
	затраты на материалы										326,66	
	отпуск труда механизмов (СМ)										7 408,14	
	материалы										1 527,46	
	сметная прибыль										669,66	
	Итого ФОТ (строка 4)										1 463,00	
	Итого материал. расходы (строка 5)										1 527,46	
	Итого сметная прибыль (строка 6)										669,66	
	ВСЕГО по строкам										30 512,91	

Составил:

Проектировщик:

 Должность, подпись (подпись, фамилия)

 Должность, подпись (подпись, фамилия)

1. Запрещается распространение сведений Российской Федерации 10 октября 2004 г., зарегистрированный № 00660, с изменениями, внесенными приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 февраля 2021 г. № 30/пг (перенесены сведения) Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 2001 г., зарегистрированный № 44/07.

* При расчёте затрат на материалы, учитываемые в составе с работами 106 Механизм.

* При расчёте работ на механизмах учитываемые в составе с работами 123/120 Механизм.