

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

институт
«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ А. С. Торопов

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2024г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Анализ экономической и технической эффективности применения
многогранных опор современных конструкций для строительства ВЛ

тема

Руководитель

подпись, дата

_____ Доц. каф. ЭМиАТ, к. т. н.

должность, ученая степень

А. В. Коловский

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

И. Р. Гибатдинов

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

И. А. Кычакова

инициалы, фамилия

Абакан 2024

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) на тему «Анализ экономической и технической эффективности применения многогранных опор современных конструкций для строительства ВЛ» содержит 40 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

МНОГОГРАННЫЕ ОПОРЫ, ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Проектируемый объект – многогранные опоры современных конструкций для строительства ВЛ.

Цель: Анализ экономической и технической эффективности применения многогранных опор современных конструкций для строительства ВЛ

Задачи:

- рассмотреть виды многогранных опор и их элементов
- провести обзор выпускаемых многогранных опор и их производителей
- выполнить анализ опыта применения многогранных опор в РФ
- провести сравнительный анализ стоимости строительства и эксплуатации ВЛ 220 кВ с применением ММО и ж/б опор на примере ВЛ 220кВ «Нижний Куранах».

THE ABSTRACT

The final qualification work (WRC) on the topic "Analysis of the economic and technical efficiency of the use of multi-faceted supports of modern structures for the construction of overhead lines" contains 40 pages of a text document, 25 sources used, 3 sheets of graphic material.

MULTI-FACETED SUPPORTS, ELECTRICAL ENERGY SAVING, ELECTRICAL EQUIPMENT, ELECTRIC RECEIVER, ELECTRICITY, ENERGY EFFICIENCY.

The projected object is multi-faceted supports of modern structures for the construction of overhead lines.

Purpose:

To analyze the economic and technical efficiency of the use of multi-faceted supports of modern structures for the construction of overhead lines

Tasks:

- consider the types of polyhedral supports and their elements
- to review the manufactured polyhedral supports and their manufacturers
- to analyze the experience of using polyhedral supports in the Russian Federation
- to conduct a comparative analysis of the cost of construction and operation of 220 kV overhead lines using MMO and railway supports on the example of 220 kV overhead line "Nizhny Kuranakh ".

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	10
1 Виды многогранных опор и их элементов	12
2 Обзор выпускаемых многогранных опор и их производителей	13
3 Анализ опыта применения многогранных опор в РФ	18
4 Сравнительный анализ стоимости строительства и эксплуатации ВЛ 220 кВ с применением ММО и ж/б опор на примере ВЛ 220кВ «Нижний Куранах – Томмот – Майя»	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование, конструкция, механическая часть воздушных линий электропередачи - важная часть проектирования электроснабжения. От правильного выбора элементов ЛЭП зависит длительная и безопасная работа линий, а, соответственно, надежное и качественное электроснабжение потребителей.

Многогранные опоры линий электропередач могут состоять из одной, двух и более секций, в зависимости от необходимой высоты. Максимально допустимая длина многогранных секций опоры, обычно составляет не более 12 м и обусловлена удобством их транспортирования. Соединение секций между собой могут быть выполнены в двух видах: фланцевом и телескопическом соединении. Обычно сборка фланцевого соединения многогранной опоры, выполняется достаточно понятно, а сборка телескопического соединения требует определенных навыков и умений. Телескопическое соединение станет надежным и эффективным при соблюдении всего двух условий: - длина телескопического шарнира должна быть равна номинальной. Допустимое отклонение указывается в конструкторской документации и, обычно, составляет примерно 10 либо 12% длины стыка; - стягивать секции нужно с возрастающей нагрузкой и с шагом, который зависящим от диаметра соединяемых секций, до тех пор, пока секции не перестанут двигаться относительно друг друга.

Благодаря конусной форме растягивающая нагрузка создает достаточно плотное соединение между секциями многогранных опор, что позволяет передавать изгибающий момент без сдвижения. Это соединение можно сравнить с болтовым соединением с контролируемым крутящим моментом. Рекомендуется, чтобы стягивающая нагрузка составляла не менее 10 тонн. Для контролирования длины телескопического стыка на заводах, как правило, наносят отметки, в пределах которых с учетом допустимого отклонения должно происходить заклинивание секций многогранной стойки относительно друг

друга. Если данной отметки нет, то установщики наносят ее сами при сборке в соответствии с инструкцией по сборке или схемой подключения. Для облегчения сборки секций многогранные опоры силовой передачи иногда оснащаются специальными проушинами, которые используются для фиксации ручных подъемников или домкратов, создающих тянущее усилие. При стягивании секций многостороннего стеллажа несколькими домкратами или лебедками необходимо обеспечить равномерность приложения нагрузки во избежание завалов и преждевременного заклинивания секций, которые трудно восстановить.

При проектировании нового строительства и реконструкции ВЛ рекомендуется использовать самонесущие изолированные провода (СИП), соответствующие ГОСТ 31946. Провод неизолированный применяют с соответствующими обоснованиями (на участках с допустимыми ветровыми и ледовыми нагрузками, на открытых пространствах и т. Д.). так далее.). При этом на магистрали ВЛИ, как правило, используют самонесущий изолированный провод с фазными жилами постоянного сечения по всей длине. В ВЛИ должны быть внедрены современные прогрессивные технические решения, способствующие бесперебойному электроснабжению потребителей, имеющие высокую надежность и ремонтпригодность. Рекомендуется выбирать технические параметры исходя из минимальных затрат на обслуживание при сроке эксплуатации не менее 40 лет. При проектировании нового строительства все элементы линий должны быть рассчитаны на механические нагрузки с учетом реальных климатических условий местности, где находится строящийся объект

1 Виды многогранных опор и их элементов

Многогранная опора - опора со стойкой (стойками), выполненными в виде полых усечённых пирамид из стального листа с поперечным сечением в виде правильного многогранника.

Многогранные опоры ЛЭП производятся на напряжения: 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ, 500 кВ

Многогранные опоры могут применяться во всех климатических условиях по СНиП 23-01.

По конструктивному решению многогранные опоры могут быть свободно стоящими и опорами на оттяжках.

Свободностоящие опоры могут быть одностоечными или многостоечными (двух- и трёхстоечными).

Двухстоечные свободностоящие опоры могут быть порталными с внутренними связями: гибкими или жёсткими.

По типу соединения секций между собой опоры разделяются на опоры с телескопическим и опоры с фланцевым соединениями. Траверсы многогранных опор могут быть выполнены многогранными, решётчатыми или изолирующими. В случае многогранного исполнения траверс их соединение со стойкой опоры выполняется фланцевым. Многогранные траверсы могут крепиться к стойке опоры перпендикулярно или наклонно вверх или вниз. Сами траверсы могут быть прямыми или изогнутыми. В случае решётчатого исполнения траверс соединения траверс со стойкой и элементов траверс между собой выполняются болтовыми соединениями.

Изолирующие траверсы, предназначенные для изоляции и крепления проводов к опоре, крепятся к стойке опоры с помощью специально разработанных узлов крепления на основе сварного и болтового соединений.

Провода фаз могут крепиться к траверсам с использованием изоляторов или непосредственно к изолирующим траверсам. При креплении проводов фаз с использованием изоляторов возможны следующие варианты: вертикальная,

V-образная и Λ-образная гирлянды изоляторов. V-образные гирлянды изоляторов располагаются поперёк оси ВЛ в межфазном пространстве. Λ-образные гирлянды располагаются вдоль оси ВЛ.

2 Обзор выпускаемых многогранных опор и их производителей

Стальные многогранные одноцепные опоры повышенной надежности для применения в вечномерзлых грунтах с учетом сезонного оттаивания до двух метров: Пс10-11, Пс10-13, Пс10-15, УПс10-10, УПс10-12, Ас10-5, Кс10-5, УАс10-5, ОАс10-5, ППс10-11, ПАс10-5, ПУАс10-5; и для обычных (минеральных) грунтов: Пс10-12, Пс10-14, Пс10-16, УПс10-11, УПс10-13, Ас10-6, Кс10-6, УАс10-6, ОАс10-6, ППс10-12, ПАс10-6, ПУАс10-6 изготавливаются по типовому проекту шифр 28.0006 ОАО «НТЦ электроэнергетики» и предназначены для ЛЭП 6(10) кВ. Опоры разработаны для подвески защищенных проводов типа СИП-3 с номинальным сечением токопроводящей жилы 50, 70, 95 и 120 мм². Опоры рассчитаны на применение моноблока типа ИЛМ, стержневых изоляторов ИЛОК, ЛОСК, штыревых изоляторов ИШП-20, подвесных изоляторов ПСП70, КСП 70/10, изолирующей подвески типа ЛДИ. Характеристики некоторых опор ЛЭП 10 кВ (проект 28.0006 ОАО «НТЦ электроэнергетики»).

Стальные многогранные одноцепные опоры ПМ10-1, ПМ10-2, УПМ10-1, АМ10-1, УАМ10-1, ОАМ10-1, ППМ10-1, ПАМ10-1, ПАМ10-2 изготавливаются по типовому проекту шифр 22.0028 ОАО «НТЦ электроэнергетики» и предназначены для ЛЭП 6(10) кВ. На опорах данного проекта предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 50/8, АС 70/11, АС 95/16. Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных изоляторов ПФ70В или ПС70Д, штыревых изоляторов ШФ-20Г, ШФУ-10, ШФ-10Г. Расшифровка условного обозначения опор: П - промежуточная, А - анкерная, У - угловая, О -

ответвительная, ПА - переходная анкерная и т.д.; М - многогранная; 10 - класс напряжения ВЛ; 1, 2 - номер модификации опоры.

Стальные многогранные опоры СМ10П, СМ10АУ, СМ10АО, СМ10АП, СМ10АУ-1Р, СМ10АУ-1М изготавливаются по типовому проекту 3.407.2-181.09 ЗАО ВНПО «РОСЛЭП» и предназначены для ЛЭП 6(10) кВ. На опорах данного проекта предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 50/8, АС 70/11, АС 95/16, АС 120/19 и самонесущих изолированных проводов типа СИП-3 (SAX) с номинальным сечением токопроводящей жилы от 50 до 150 мм. Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных изоляторов ПС70Е или подвесных полимерных изоляторов ЛК70/10, штыревых изоляторов ШФ-20В, ШК-10. Расшифровка условного обозначения опор: СМ - стальная многогранная; П - промежуточная, А - анкерная, У - угловая, О - ответвительная, АП - анкерная переходная; 10 - класс напряжения ВЛ; 1 - номер модификации опоры; Р - с установкой разъединителя (разрядника), М - с установкой кабельной муфты.

Стальные многогранные двухцепные опоры ПМ35-2, ПМ35-4, ПМ35-6, ППМ35-4, ППМ35-6, ОПМ35-2, ОПМ35-4, ОПМ35-6, КМ35-6, ПКМ35-6, УАМ35-6, УАМ35-4, КМ35-4, УПМ35-4, УПМ35-6 изготавливаются по типовому проекту шифр 22.0098 ОАО «НТЦ электроэнергетики» и предназначены для ЛЭП 35 кВ. Расшифровка условного обозначения опор: П - промежуточная, А - анкерная, У - угловая, О - ответвительная, К - концевая; М - многогранная; 35 - класс напряжения ВЛ; 2,4,6 - номер модификации опоры и цепность.

Стальные многогранные двухцепные опоры ПМ35-2Ф, АМ35-2Ф изготавливаются по типовому проекту МЕТАКО-ТСК.35.01 и предназначены для ЛЭП 35 кВ. На опорах данного проекта предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 120/19. Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных и полимерных изоляторов. Расшифровка условного обозначения опор: П - промежуточная, А - анкерная; М - многогранная; 35 -

класс напряжения ВЛ; 2 - номер модификации опоры и цепность; Ф - фланцевое соединение с фундаментом.

Стальные многогранные опоры ПМ110-1, ПМ110-2, ППМ110-2, АМ110-1, УАМ110-1 изготавливаются по типовому проекту шифр 22.0099 ОАО «НТЦ электроэнергетики», опоры ПМ110-4, ПМ110-6 - по типовому проекту шифр 28.0034 ОАО «НТЦ электроэнергетики» и предназначены для ЛЭП 110 кВ. На опорах данного проекта предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 95/16, АС 120/19, АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32 и грозозащитного троса С50 (ТК 9,1). Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных изоляторов ПФ70В или ПС70Д. Расшифровка условного обозначения опор: П - промежуточная, А - анкерная; У - угловая, ПП - промежуточная переходная; М - многогранная; 110 - класс напряжения ВЛ; 1, 2 - номер модификации опоры и цепность.

Стальные многогранные одноцепные опоры ПМ110-1Ф, ПМ110-1ФТ, ПМ110-1Ф4, ПМ110-3Ф, ПМ110-3ФТ, ПМ110-3Ф4, ПМ110-5Ф, ПМ110-5Ф4, ПМ110-7ФР, ПМ110-7Ф4Р, АМ110-1Ф, АМ110-3Ф4, АМ110-3Ф4Т, АМ110-3Ф4+5, АМ110-5Ф4, АМ110-5Ф4Р и двухцепные опоры ПМ110-2Ф, ПМ110-2Ф4, ПМ110-4Ф, ПМ110-4Ф4Т, ПМ110-6Ф, ПМ110-6Ф4, ПМ110-8ФР, ПМ110-8Ф4Р, АМ110-2Ф, АМ110-4Ф4, АМ110-4Ф4Т, АМ110-4Ф4+5, АМ110-6Ф4, АМ110-6Ф4Р изготавливаются по типовому проекту 3.407.2-182.09 ЗАО ВНПО «РОСЛЭП» и предназначены для ЛЭП 110 кВ. На опорах данного проекта предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 120/19, АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32, АЕРО-Z 177-1Z – 301-2Z и грозозащитного троса С50 (ТК 9,1). Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных и полимерных изоляторов. Расшифровка условного обозначения опор: П - промежуточная, А - анкерная; М - многогранная; 110 - класс напряжения ВЛ; 1...8 - номер модификации опоры и цепность; Ф - фланцевое соединение с фундаментом; 4 - с расширенной базой (отсутствие индекса указывает на узкобазную опору); Р - с применением разрядников ОПН, Т - тросостойка на два грозотроса.

Стальные многогранные двухцепные концевые опоры 2МК220, 2МК220+8,5 разработаны ОАО «СевЗап НТЦ» для перехода воздушной линии в кабельную на ЛЭП 220 кВ. Концевые опоры выполнены одностоечными с вертикальным расположением проводов. Опоры рассчитаны на нагрузки от проводов марки АСК300/66, двух грозозащитных тросов и кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Для размещения кабельного оборудования, установки концевых муфт и ОПН для удобства обслуживания на опоре размещена площадка с настилами и ограждением.

Стальные многогранные одноцепные опоры ПБМ220-1, ПМ220-1ф, многогранные двухцепные опоры ПМ220-2Т, ПБМ220-2, ПМ220-2ф, ПМ220-2ф4, ПМ220-8ф разработаны и изготавливаются ЗАО ДЗМК «Метако» и предназначены для ЛЭП 220 кВ. На указанных опорах предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 300/39, АС 400/51 и грозозащитного троса ТК11, ТК100. Опоры рассчитаны на применение подвесных стеклянных изоляторов ПС300В для провода и ПС160Д для грозотроса.

Стальные многогранные двухцепные опоры ПМ220-2В, УМ220-2В, ПММ220-2т, УММ220- 2.30т, УММ220-2.30т+5, УММ220-2.50т, УММ220-2.75т; трехцепные опоры ПММ220-3.2т, ПМ220/110-3, УМ220/110-3; четырехцепные опоры ПММ220-4.2т, УМ220-4.2В, УММ220-4.2т, УММ220-4.2т+5 разработаны ОАО «ПРОМик» и предназначены для ЛЭП 220 кВ. На указанных опорах предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 400/51, АС 500/64 и грозозащитного троса АС 70/72.

Стальные многогранные одностоечные промежуточные опоры МП330-1, МП330-2 изготавливаются по типовому проекту 20002тм-т1, т4, т10, т17; одностоечные анкерноугловые опоры МУ330-1, МУ330-3, МУ330-5, МУ330-2, МУ330-4, МУ330-6 - по типовому проекту 20003тм-т2, т7; промежуточные опоры порталного типа с внутренними связями 2МП330-1В и трехстоечные свободностоящие опоры 3МУ330-1, 3МУ330-1+5 - по типовому проекту 20016тм- т8, т13, т16, т21. Опоры разработаны ОАО «СевЗап НТЦ» и предназначены для ЛЭП 330 кВ. Кроме того на базе опор МП330-1 и МП330-2

ОАО «СевЗап НТЦ» разработаны специальные промежуточные опоры МПГ330-1, МПГ330-1Т, МПГ330-2Т предназначенные для прохождения ВЛ 330 кВ по населенной местности. На опорах указанных проектов предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АС 300/39, АС 400/51 и грозозащитного троса ТК11.

Стальные многогранные двухцепные переходные опоры АПМ330-2.50, АПМ330-2.70 разработаны ОАО «ПРОМиК» и предназначены для переходов ЛЭП 330 кВ через водные преграды. На указанных опорах предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов 2АС 500/336 и 2АС400/93 соответственно.

Стальные многогранные одноцепные опоры portalного типа с внутренними связями ПМГ500-1.2, ПМГ500-1.2-5, ПМГ500-1.2-10, ПМГ500-1.2+7, ПМГ500-1.525ц-10, ПМГ500-3.222ц10, ПМГ500-7.221 разработаны ОАО «ПРОМиК» и предназначены для ЛЭП 500 кВ. На указанных опорах предусмотрена подвеска сталеалюминевых проводов АпС 330/43, АС 300/39, АС 400/51 и грозозащитного троса АпС 70/72.

3 Анализ опыта применения многогранных опор в РФ

В России многогранные опоры не получили распространения. Незначительный опыт имелся в строительстве многогранных опор с фланцевым соединением секций и оттяжками. Такая конструкция не имела перспектив широкого распространения. Первый опыт применения конических многогранных опор в сетевом строительстве, течение 4-х месяцев необходимо было построить две одноцепные линии ВЛ 110 кВ на участке Мантурово — Шарья (ПС «Звезда» — ПС «Кроностар») общей протяженностью 120 км. Первоначальным проектом предусматривалось строительство ВЛ на традиционных опорах — решетчатые анкерные опоры и железобетонные (частично решетчатые) промежуточные опоры. Для сокращения сроков и стоимости строительства было принято решение на восьми анкерных участках общей протяженностью 45,5 км установить многогранные опоры ПМ110-1ф в качестве промежуточных, оставив решетчатые анкерные. Последнее решение принято в силу ограниченности сроков на перепроектирование. Промежуточная опора ПМ110-1ф состоит из двух 12-гранных секций с толщиной стенки 6 мм (рисунок1).

Опора устанавливается на фундаментный модуль, выполненный из трубы со стенкой 10 мм, с помощью фланцевого соединения. Основные характеристики использованных промежуточных опор таковы:

- расчетный габаритный пролет — 270 м;
- расчетный ветровой пролет — 285 м;
- расчетный весовой полет — 330 м;
- масса комплектной опоры — 2,2 т;
- масса фундаментного модуля — 1 т.

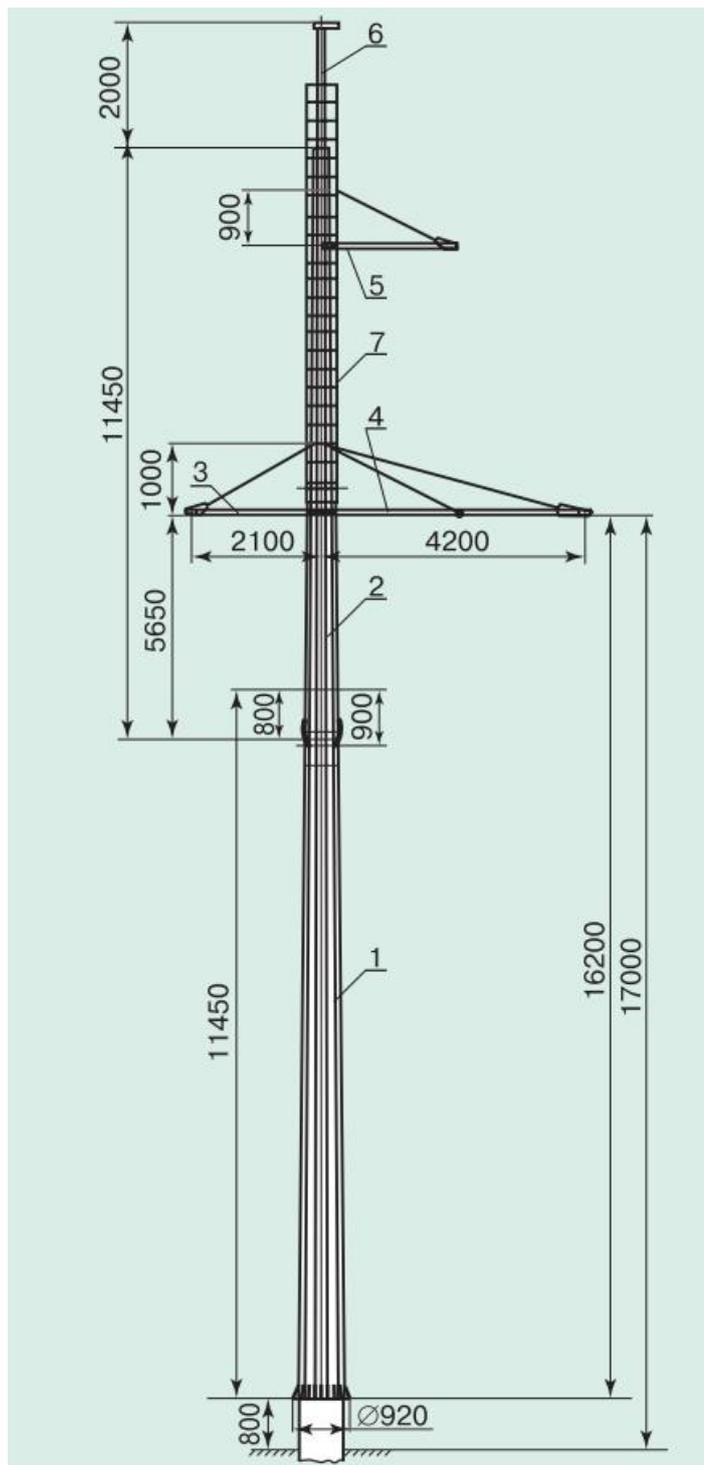


Рисунок 1 - Конструкция опоры ПМ110-1Ф

- 1 — нижняя часть опоры
- 2 — верхняя часть опоры
- 3, 4, 5 — траверсы
- 6 — тросостойка
- 7 — лестница

В результате использования многогранных опор существенно улучшились технико-экономические показатели строительства (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительные характеристики вариантов строительства с использованием традиционных и многогранных опор

	Первоначальный вариант	Реализованный вариант
Средний пролет (м)	160	240
Потребность в опорах (шт.)		
Железобетонные опоры		
ПБ110-15	230	-
ПСБ110-1	10	-
УБ110-13	2	-
Металлические опоры		
П110-5В (решетчатые)	42	-
ПМ110-1ф (многогранные)	-	190
Всего опор (шт.)	284	190
Вес опор (т)	1385	418
Потребность в элементах фундаментов (шт)		
Ригель АР-6	270	60
Ригель Р1-А	90	-
Плита ОП-1	5	-
Фундамент Ф5-2	84	-
Трубчатые фундаменты	-	220
Вес фундаментов (т)	635	245

Мировой опыт применения стальных многогранных опор насчитывает около 60 лет. В сетях 6—20 кВ многогранные опоры используются в качестве промежуточных, анкерно-угловых, повышенных переходных. В России опыт строительства сетей напряжением 6—10 кВ на многогранных опорах насчитывает около 17 лет. За эти годы построено около 6000 км ВЛ, большинство из них на объектах, не входящих в систему сетей ПАО «Россети

Сибирь». Линии на многогранных опорах строятся преимущественно там, где использование других типов опор невозможно в принципе либо заведомо неэффективно при ограничениях по землеотводу, на болотистых участках, в зонах вечной мерзлоты, в сейсмической зоне с экстремальными районно-климатическими условиями.

Пилотный объект в электросетевом комплексе ПАО «Россети» (рисунок 2)— ВЛ 10 кВ протяжённостью 2,2 км. ВЛ 10 кВ на металлических многогранных опорах. Для повышения надёжности электроснабжения которого реализован проект, отсутствует эксплуатирующий персонал. Трудности с доставкой грузов в этот район, сложные геологические условия строительства — всё это определило выбор технического решения. Применение многогранных металлических опор позволяет увеличить пролёты и за счёт этого уменьшить количество опор. Опоры имеют небольшой вес, что облегчает их доставку. Монтируются они непосредственно на месте установки и не разрушаются от перепадов температуры, как железобетонные. Данные опоры имеют лучшие показатели по сроку эксплуатации — не менее 60 лет, — в то время как максимальный срок эксплуатации, к примеру, деревянных опор по ТУ изготовителя — 40 лет. Изготовитель опор — опытный завод «Гидромонтаж» — утверждает, что капитальные вложения на строительство собственно ВЛ, т.е. затраты, зависящие от выбранного типа опор (без затрат на рубку просек, ПИР и т.п.), сокращаются на 10—50%. Опыт был представлен на рассмотрение научно-технического совета «Россети» в августе 2012 года. В итоге было решено «подразделениям технического развития филиалов «Россети» при подготовке технических заданий на выполнение проектных работна строительство ВЛ 6— 35 кВ, расположенных в неблагоприятных



Рисунок 2 - Пилотный объект в электросетевом комплексе ПАО
«Россети»

геологических районах, включать в ТЗ требование о выполнении сравнительного анализа строительства ВЛ на деревянных (железобетонных) и многогранных опорах». Реализованы проекты строительства ВЛ 110 кВ. Одна из них — линия 110 кВ Соколовка — первая в республике двухцепная ЛЭП высокого класса напряжения на многогранных металлических опорах (рисунок 3). Ранее подобные опоры в Республике были использованы при строительстве одноцепных линий электропередачи 110 кВ Микунь и Помоздино.

Сроком ввода в эксплуатацию ВЛ 110 кВ Соколовка— было 4 квартал 2012 года. Проект являлся приоритетным для региона и включён в Программу развития электроэнергетики Республики на 2011— 2015 годы. Линия Соколовка протяжённостью 25 км — первый этап крупного инвестиционного проекта филиала ПАО «Россети». Завершение её строительства позволило повысить в 2 раза надёжность электроснабжения трёх южных районов Республики, — создало дополнительные мощности и обеспечило присоединение к сетям финно-угорского этнокультурного парка.



Рисунок 3 - Первая в Республике двухцепная ЛЭП высокого класса напряжения на многогранных металлических опорах

Филиал ПАО «Россети» впервые применил многогранные металлические опоры при реконструкции воздушной линии 110 кВ (рисунок 4).

Протяжённость реконструируемого участка двухцепной линии, соединяющей ПС 330/110 кВ «Старорусская» и ПС 110/35/10 кВ «Русса», составляет 15,8 км. Ввод объекта в эксплуатацию планируется в октябре 2012 год



Рисунок 4 – Применение многогранных металлических опор при реконструкции воздушной линии 110 кВ

Средние пролеты увеличились в 1,5 раза — со 160 до 240 м. Соответственно, общее количество опор снизилось с 284 до 190 штук. Более

чем в 3 раза снизился объем завозимых грузов и это без учета песчано-гравийной смеси и других материалов, необходимых для строительства фундаментов решетчатых опор. Сроки строительства для сопоставимых по численности бригад сократились в 4 раза. Стоимость строительства сократилась на 15 %.

Первый опыт строительства линий электропередачи убедительно подтвердил преимущества многогранных опор, отмечаемые зарубежными и отечественными специалистами [2].

Конструкции железобетонных опор для ВЛ 35-500 кВ из секционированных стоек.

Преимущества новых опор:

- стоимость железобетонных опор в 2,8 раза ниже стоимости стальных конструкций;

- стоимость строительства ВЛ на ж/б опорах на 30% ниже, чем на стальных;

- соответствие ПУЭ-7, большая несущая способность, пролёты соизмеримы с пролётами металлических опор;

- долговечность – 70 лет;

- простота монтажа и вандалоустойчивость конструкций;

- удобство транспортировки – длина секции до 11,3 м;

- возможность установки опоры на место существующей при реконструкции ВЛ, – не требуется дополнительного землеотвода.

Обследование технического состояния опор воздушных переходов на ВЛ 500 кВ на Саяно-Шушенской ГЭС; заказчик ОАО Ленгидропроект для РусГидро, 2011г.;

Обследование технического состояния конструкций ОРУ 500 кВ Саяно-Шушенской ГЭС и ОРУ 220 кВ и ОРУ 500 кВ Зейской ГЭС с дальнейшим выполнением расчётов порталов ОРУ 220 и 500 кВ по результатам лазерного сканирования; заказчик ОАО Ленгидропроект для РусГидро, 2011-2012г.;

Спецпереход ВЛ 220 кВ Балаково 1,2 через реку (четыре одноцепных и один двухцепный) с применением высокотемпературного провода ACS 521-A20SA на опорах АТ-105 (125м), АТ-96, АТ-87, что позволило уменьшить высоту переходных опор до 40м и сократить сметную стоимость строительства на 14% по сравнению с применением АС500/336. Фундаменты: сборные железобетонные и из винтовых свай с монолитным ростверком. Заказчик: ОАО ЦИУС, 2011 г.

Переход ВЛ 220 кВ ГРЭС-Соболи-1,2 через водохранилище с применением высокотемпературного провода ACS 521-A20SA, что позволило уменьшить высоту переходной опоры на 50м и сократить сметную стоимость строительства на 17% по сравнению с АС500/336. Фундаменты: монолитные железобетонные индивидуального изготовления.

Специальные переходы ВЛ через водные преграды

- переход ВЛ 500 кВ через реку протяженностью более 2 километров с применением плоскошарнирных опор высотой 120 метров; фундаменты: монолитные железобетонные индивидуального изготовления;

- реконструкция специального перехода ВЛ 1500 кВ через реку для использования при строительстве ВЛ 500 кВ ПС Курдюм; фундаменты: сборные железобетонные индивидуального изготовления с металлическим ригелем; Переходная опора ПП1500-1/127 Концевая опора К1500-1

- переходы ВЛ 110 кВ, 220 кВ через северные реки на А-образных «качающихся» опорах; фундаменты: монолитные железобетонные индивидуального изготовления;

- переход ВЛ 500 кВ ПС Южная - ПС Трубная через реку с применением опор типа «Рюмка» высотой 110м;

- переход ВЛ 500 кВ ГРЭСПС через реку и протоку протяженностью более 4 км с установкой 9 опор высотой до 200м; Переход через реку фундаменты: буронабивные сваи длиной 40м с монолитным ростверком из заполненных бетоном стальных труб;

Фундаменты высотных опор ВЛ 220 кВ. Исходные данные:

- промежуточные и анкерные многогранные опоры высотой до 50м, изгибающий момент до 2500тс·м;

- грунтовые условия: дисперсные и скальные.

Технические решения фундаментов:

- из свай-оболочек с винтовой лопастью;

- из ортотропных опорных плит;

- из буронабивных свай с монолитным ростверком.

ВЛ 500 кВ Восход-Витязь, 2011 г. Преимущества нового типа фундамента:

- погружение вдавливанием и завинчиванием без нарушения структуры грунта;

- отсутствие земляных работ;

- быстрый монтаж фундаментных конструкций;

- минимальное количество операций при погружении свай (монтаж производится одной машиной; небольшое число обслуживающего персонала;

- возможность проведения работ вне зависимости от времени года.

ВЛ 500 кВ. Исходные данные:

- на трассе применены опоры 2МП500-1В;

- сложные инженерно-геологические условия: текучепластичные и текучие глины и суглинки, заторфованные грунты. Технические решения фундаментов:

- из свай-оболочки, погружаемой в пробуренный котлован;

- из вибропогружаемой свай-оболочки;

- из винтовых свай с металлическим ростверком;

- мелкого заложения с железобетонной плитой.

Фундаменты для опор ВЛ 500 кВ ПС Камала I, 2010 г. Исходные данные:

- трасса проходит по болотистой местности: мощность залегания торфа до 3 м, текучепластичные суглинки и массивы сажистого угля;

- промежуточные опоры на оттяжках и анкерно-угловые башенного типа.

Технические решения:

- фундаменты из наклонных винтовых свай с металлическим ростверком.
- ВЛ 330 кВ для выдачи мощности от второго блока ТЭЦ-2, 2009 г.

Исходные данные:

- две ВЛ общей протяжённостью 50 км;
- сложные инженерно-геологические условия: большая протяжённость заболоченных участков (торф до 7 м), в долине реки суглинистые и супесчаные тиксотропные илы (до 14 м). Технические решения:

- модифицированные конструкции опор: решётчатые на базе У330-1 и У330-3 с подставками; многогранные на базе МП330-1;
- базовые фундаменты для многогранных опор из свай-оболочек;
- модифицированные конструкции фундаментов на базе фундаментов из винтовых свай с металлическими и железобетонными ростверками.

ВЛ 330 кВ, 2009 г. Исходные данные:

- трасса проходит по берегу озера.

Технические решения:

- специальные промежуточные и анкерно-угловые одноцепные многогранные опоры ВЛ напряжением 330 кВ;
- фундаменты на забивных железобетонных сваях с монолитными железобетонными ростверками.

ВЛ 330 кВ, 2008 г. Исходные данные:

- трасса проходит в черте города: экологические и эстетические требования; увеличенный габарит подвески нижнего провода; стеснённые условия для сооружения опор и фундаментов; минимальная площадь землеотвода;

- сложные инженерно-геологические условия (тиксотропные и плавунные свойства грунтов): применение щадящих технологий строительства: сведение к минимуму динамических воздействий на грунты.

Технические решения:

- специальные промежуточные двухцепные многогранные опоры ВЛ напряжением 330 кВ;

- фундаменты из винтовых свай с монолитными железобетонными ростверками.

ВЛ 220 кВ. Исходные данные:

- переход ВЛ в кабельную линию;
- сложные климатические условия: V район по ветру, IV район по гололёду, 7 район по сейсмике;
- грунтовые условия: коренные скальные грунты, песчаники различной прочности.

Технические решения:

- концевые многогранные опоры перехода ВЛ в КЛ с расположенной на стволе технологической площадкой;
- фундаменты из буроинъекционных свай с монолитным ростверком

ВЛ 110 кВ, 2009 г. Исходные данные:

- трасса проходит по берегу озера (опоры должны стоять на узкой полосе между озером и линией железной дороги): экологические требования; минимальная площадь землеотвода под опоры; стеснённые условия для сооружения опор и фундаментов.

Технические решения:

- специальные анкерно-угловые одноцепные многогранные опоры ВЛ напряжением 110 кВ с креплением фаз провода к стволу опоры;
- монолитные фундаменты с металлической закладной деталью (трубой), устанавливаемые на скальные грунты.

Новые анкерные конструкции под оттяжки опор ВЛ 35-500 кВ

Применение железобетонных анкерных плит:

- коррозионное разрушение узла крепления оттяжек к анкерным плитам, находящимся на глубине 2.5–3.0 м;
- необходимость большого объёма земляных работ для проверки состояния фундаментов на потенциально опасных с точки зрения коррозии участках;

- соответствует СО 153-34.20.121-2006 ОАО «ФСК ЕЭС» «Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ».

Техническое решение:

- новые анкерные конструкции с вынесением узла крепления U-образного болта над поверхностью земли.

Унификация многогранных опор Стандарты организации ОАО «ФСК ЕЭС»:

- СТО 56947007-29.240.55.054-2010 «Руководство по проектированию многогранных опор и фундаментов к ним для ВЛ напряжением 110-500 кВ» (введён 03.09.2010);

- СТО 56947007-29.240.55.096-2011 «Методические указания по оценке эффективности применения стальных многогранных опор и фундаментов для ВЛ напряжением 35-500 кВ» (введён 01.07.2011);

- «Элементные сметные нормы и единичные расценки по монтажу многогранных опор для ВЛ напряжением 110-500 кВ и фундаментов к ним» (на утверждении).

4 Сравнительный анализ стоимости строительства и эксплуатации ВЛ 220 кВ с применением ММО и ж/б опор на примере ВЛ 220кВ «Нижний Куранах – Томмот – Майя»

Проектируемая воздушная линия (ВЛ) 220 кВ «Нижний Куранах» предназначена для повышения надежности электроснабжения потребителей районов. Протяженность трассы ВЛ 220 кВ согласно проекту составит 434,7 км. Максимальный переток мощности в послеаварийном режиме запланирован порядка 114 МВт.

Разработан проект строительства ВЛ 220 кВ «Нижний Куранах» с применением традиционных проводов марки АС и опор типа П220-2. В качестве альтернативного варианта рассмотрен вариант строительства этой линии с применением новых технологий, в частности – высокотемпературных проводов и стальных многогранных опор.

В рамках этого вопроса был произведен анализ эффективности различных вариантов высокотемпературных проводов по условиям: напряжения, расчётной токовой нагрузки, района по гололёду, материала и цепности опор. Результаты расчетов показали, что наиболее перспективным является провод марки АСПТ АТ1/20SA 240/56 [1].

Далее были произведены электрические, механические и технико-экономические расчеты ВЛ 220 кВ «Нижний Куранах» для двух вариантов:

- с подвеской высокотемпературного провода АСПТ АТ1/20SA 240/56 на металлических многогранных опорах;
- с подвеской сталеалюминиевого провода марки АС 300/39 на стальных решетчатых опорах.

В целом, результаты проведенных расчетов показали, что применение высокотемпературных проводов позволит ВЛ работать в штатном режиме при температуре проводов 180°С. Эти провода не подвержены отложению гололеда, что весьма актуально для северных районов и означает как резкое снижение вероятности возникновения пляски, так и уменьшение пиковых

нагрузок на опоры. Провод АСПТ АТ1/20SA по конструкции не отличается от классических проводов, это позволяет использовать все известные типы кабельной арматуры. Методики работы и монтажа этого провода идентичны методикам для классического провода АС [2]. Таким образом, применение высокотемпературных проводов позволит решить основные проблемы электросетей: повысить надежность и бесперебойность энергоснабжения, сократить потери и увеличить пропускную способность ВЛ (таблица 2).

Таблица 2 - Сравнительная характеристика проводов АС 300/39 и АСПТ АТ1/20SA240/56

Провод	АС 300-39	АСПТ АТ1/20SA 240/56
Вес, кг/км	1132	1037,7
Разрывное усилие, кН	90,574	106,603
Длительно допустимый ток, А	705	1096,5
Температурный коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	$19,8 \cdot 10^{-6}$	$18,3 \cdot 10^{-6}$
Предел прочности при растяжении, даН/мм ²	27	33
Допустимое напряжение, даН/мм ² :		
А) при max нагрузке и min температуре	12,2	14,9
Б) при среднегодовой температуре	8,1	9,9

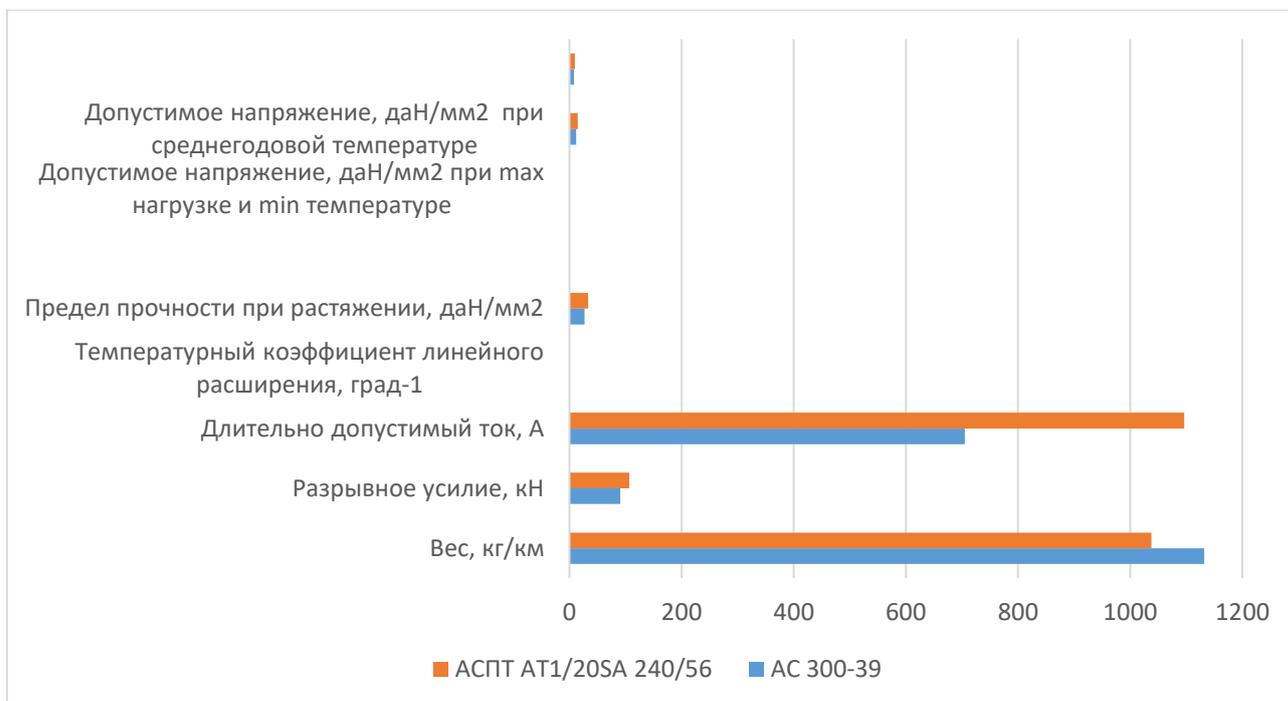


Рисунок 5 – Сравнительная характеристика проводов АС 300/39 и АСПТ АТ1/20СА240/56

На втором этапе исследования было рассмотрено два варианта проектирования воздушной линии: с применением стальных решетчатых опор марки П220-2 (рисунок 6) и с применением стальных многогранных опор марки ПМ220-2 (рисунок 7).



Рисунок 6 – Стальная решетчатая опора марки П220-2



Рисунок 7 - Стальная многогранная опора марки ПМ220-2

В энергосистемах современных государств эксплуатируется миллионы километров линий электропередач. Основная часть воздушных линий электропередачи (ЛЭП) 35-500 кВ, функционирующая в настоящее время, была построена в 60–70-х годах прошлого столетия и к настоящему времени имеет срок службы больше нормативного [3].

Данный вопрос актуален так же из-за участвовавших технологических нарушений, связанных с экстремальными метеоусловиями: переход Правил устройства электроустановок на период повторяемости в 25 лет увеличил нормативные ветровые нагрузки на 20–30 %, а нормативную толщину стенки гололеда на 5 мм [4].

С учетом вышеизложенного, необходимо учитывать, что надежность линий зависит от надежности отдельных элементов ВЛ. К таковым необходимо отнести: опоры, провода и тросы, изоляторы, арматуру ВЛ.

Главный недостаток металлических опор ЛЭП из уголкового проката – большое количество сборочных единиц, и как следствие, увеличенные трудозатраты при монтаже. Сроки монтажа решетчатых стальных опор ВЛ в 6 раз больше, чем у аналогичных железобетонных или стальных многогранных [5]. Учитывая тот факт, что пролетные расстояния у решетчатых и многогранных опор приблизительно равны и в 1,5–2 раза больше железобетонных, можно сделать вывод, что строительство ВЛ на стальных многогранных опорах имеет преимущество по скорости строительства перед стальными решётчатыми и железобетонными опорами.

Изменение нормативной базы, переход на рыночную экономику и, как следствие, необходимость в привлечении инвесторов в электросетевой комплекс РФ для реализации необходимых проектов требуют применения оптимальных технических и экономических решений. Строительство воздушных линий электропередачи на многогранных опорах является одним из таких решений.

Такие опоры являются надежными, эстетичными, универсальными, способны к адаптациям. Имея испытанную на полигоне базовую опору, завод-изготовитель может в течение короткого времени организовать производство опоры новой модификации, которая является подходящей для конкретной трассы воздушных линий.

Преимущества многогранных опор ЛЭП [6]:

1) Сроки строительства ВЛ на многогранных опорах имеют двух-четырёхкратное преимущество перед ВЛ на решетчатых опорах. Это обусловлено снижением трудозатрат за счет простоты установки многогранных опор, а также малого количества сборочных элементов;

2) С использованием дисконтированного денежного дохода, экономический эффект при строительстве ЛЭП на многогранных опорах составляет 40-45% по сравнению с решетчатыми. Это обусловлено снижением затрат на строительные-монтажные работы, а также более низкими затратами на эксплуатацию, более длительным сроком службы, низкими затратами на

ликвидацию и утилизацию. Преимущества стальных многогранных опор возрастают при строительстве ЛЭП в северных и отдаленных районах;

3) Многогранные опоры отличает низкая стоимость транспортировки, которая в 1,5-2 раза дешевле транспортировки решетчатых опор. Длина секций 12 м позволяет использовать для перевозок стандартный габаритный транспорт. Телескопическая конструкция опор позволяет при транспортировке размещать одни секции внутри других;

4) При применении многогранных опор затраты на постоянный землеотвод снижаются примерно в 2 раза. Сокращаются затраты и на временный землеотвод;

5) Надежность многогранных опор является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность. По всем этим характеристикам многогранные опоры лучше традиционных. Долговечность, в среднем составляет для бетонных опор 30 лет, для решетчатых – 40 лет, а для многогранных – 50 лет. На линиях отсутствуют катастрофические разрушения, типичные для железобетонных и металлических решётчатых опор. Многогранные опоры практически не нуждаются в ремонте, который при необходимости осуществляется в кратчайшие сроки.

Применение многогранных опор ПМ220-2 уменьшает габаритный, ветровой и весовой пролеты (таблица 3).

Таблица 3 - Сравнение характеристик промежуточных опор П220-2 и ПМ220-2

Тип опоры	Заданные условия			Расчетные пролеты, м		
	Провод	Район по гололеду	Район по ветровой нагрузке	Габаритный	Ветровой	Весовой
П220-2	АС 300-39	II	II	385	470	480
ПМ220-2	АСПТ АТ1/20СА240/56	II	II	310	467	388

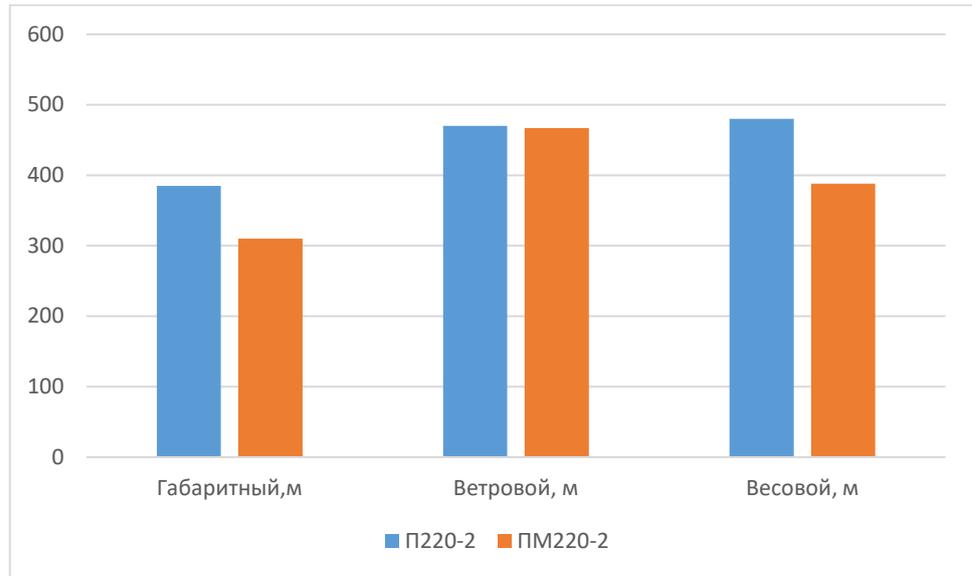


Рисунок 8 - Сравнение характеристик промежуточных опор П220-2 и ПМ220-2

Согласно проведенным расчетам применение высокотемпературных проводов приведет к снижению потерь мощности в проектируемой ВЛ до 30% и увеличит ее пропускную способность в 1,5 - 2 раза, что в свою очередь позволит достичь экономии за счет более низких потерь порядка 98 тыс. руб. на 1 км линии в год и за счет дополнительно передаваемой мощности - 150 - 250 млн. руб. на линию в год [7].

Многогранные опоры позволят экономить на транспортировке и строительно-монтажных работах, а также снизят затраты на эксплуатацию, ликвидацию и утилизацию. Экономический эффект при строительстве ЛЭП на многогранных опорах составит 40-45% по сравнению с решетчатыми [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной выпускной квалификационной работы является проведенный анализ экономической и технической эффективности применения многогранных опор современных конструкций для строительства ВЛ.

Согласно проведенным расчетам применение высокотемпературных проводов приведет к снижению потерь мощности в проектируемой ВЛ до 30% и увеличит ее пропускную способность в 1,5 - 2 раза, что в свою очередь позволит достичь экономии за счет более низких потерь порядка 98 тыс. руб. на 1 км линии в год и за счет дополнительно передаваемой мощности - 150 - 250 млн. руб. на линию в год [7]. Многогранные опоры позволят сэкономить на транспортировке и строительно-монтажных работах, а также снизят затраты на эксплуатацию, ликвидацию и утилизацию. Экономический эффект при строительстве ЛЭП на многогранных опорах составит 40-45% по сравнению с решетчатыми [6].

Поставленная в работе цель достигнута, задачи решены в полном объеме в соответствии с выданным заданием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вариводов В.Н., Казаков С.Е. и др. Стальные многогранные опоры для распределительных электрических сетей. — М.: ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2005, №2.
2. Волков Э.П., Баринов В.А., Гаврилов А.Ф. Разработка программы модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года. М.: 2011 — 244 с.
3. Горюнов В.Н., Бубенчиков А.А. Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах // Омский научный вестник. 2009. № 1 (77). С. 106–108.
4. Звенин А.А., Константинова Е.Д. Основные положения методики расчета проводов и нагрузок на опоры ВЛ на основе метода предельных состояний// Линии электропередачи 2006: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс. Новосибирск: 2006. — С. 183—193.
5. Крылов С.В. Легкие эстетичные опоры для ВЛ СВН. — М.: ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2005, №3.
6. Линт Н.Г., Казаков С.Е. Экономика строительства линий электропередачи на стальных многогранных опорах// Электро, — 2007 — № 6 — С. 47—53.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. МЭ РФ, МФ РФ — М.: Экономика, 2000.
8. Опоры ЛЭП: [Электронный ресурс]. URL: <http://опора-лэп.рф> (Дата обращения: 11.01.2019).
9. Правила устройства электроустановок / Минэнерго. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 648 с.
10. Провод неизолированный из термостойкого алюминиевого сплава с сердечником из стальной проволоки, плакированной алюминием (Провод

- АСПТ). [Электронный ресурс]. URL: <http://n-er.ru/provod-aspt> (дата обращения 20.05.16).
11. Проектирование механической части линий электропередачи [учебно-методическое пособие] к практическим занятиям для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» специализации 1-43 01 02 02 «Проектирование, монтаж и эксплуатация электрических сетей» / М. А. Короткевич. – Минск.
 12. Раппопорт А.Н., Горюнов П.В. и др. Практические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике. 2-е изд. — М.: 1999.
 13. Сборка, установка, монтаж многогранных опор ЛЭП [Электронный ресурс]/. общие сведения -Режим доступа: <https://polygonal.com.ua> Дата доступа: 27.10.2021.
 14. Семенко В.Д. Костиков В.И. Опоры для линий 0,4-10 кВ. — Новые решения. Киев, Энергетика и электрификация, 2001, № 8.
 15. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1985. — С. 16.
 16. Стальные многогранные опоры ЛЭП. [Электронный ресурс]. URL: <http://elektropostavka.ru/stal-mnogogran-opor/> (дата обращения 20.05.16).
 17. Ударов В.М. Стальные многогранные опоры ВЛ 110 кВ. Рабочие чертежи. ОАО РОСЭП, 2003. — С. 17.
 18. Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С., Ильин В.К., Кузнецов И.Л. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 35—500 кВ // Воздушные линии. — 2015 — № 1 — С. 63—67.
 19. Цейтлин М.А. Опыт проектирования и применения опор ВЛ со стальными многогранными стойками // Прогрессивные решения в электросетевом строительстве: сб. науч. тр. М., Энергосетьпроект, 1988. — С. 112—123.
 20. Энергоэффективность в электрических сетях. Провода ЛЭП пора менять. [Электронный ресурс]. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/621> (дата обращения 20.05.16).

21. Стальные многогранные опоры ЛЭП. [Электронный ресурс]. URL: <http://elektropostavka.ru/stal-mnogogran-opor/> (дата обращения 20.05.16).
22. Ударов В.М. Стальные многогранные опоры ВЛ 110 кВ. Рабочие чертежи. ОАО РОСЭП, 2003. — С. 17.
23. Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С., Ильин В.К., Кузнецов И.Л. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 35—500 кВ//Воздушные линии. — 2015 — № 1 — С. 63—67.
24. Цейтлин М.А. Опыт проектирования и применения опор ВЛ со стальными многогранными стойками // Прогрессивные решения в электросетевом строительстве: сб. науч. тр. М., Энергосетьпроект, 1988. — С. 112—123.
25. Энергоэффективность в электрических сетях. Провода ЛЭП пора менять. [Электронный ресурс]. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/621> (дата обращения 20.05.16).

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетики, машиностроения и автомобильного транспорта»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А. С. Торопов

подпись инициалы, фамилия

« 28 » 06 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Анализ экономической и технической эффективности применения

тема

многогранных опор современных конструкций для строительства ВЛ

Руководитель

Коловский 27.06.24
подпись, дата

доц. каф. ЭМиАТ, к.т.н.
должность, ученая степень

А.В.Коловский

инициалы, фамилия

Выпускник

Гибатдинов 27.06.24
подпись, дата

И.Р. Гибатдинов

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Кычакова 28.06.2024
подпись, дата

И.А. Кычакова

инициалы, фамилия

Абакан 2024